

Школа ИШЭ
 Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
 Отделение школы (НОЦ) электроэнергетики и электротехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Электропривод рулевой рейки автомобиля

УДК 62-8:629.5.061.12

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6К	Григорьев Иван Андреевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гусев Николай Владимирович	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Подопригора Игнат Валерьевич	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева Ирина Леонидовна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника	Тютеева Полина Васильевна	К.Т.Н.		

Результаты обучения по направлению

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Код результата	Результат обучения
Р 1	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>электрических устройств, объектов и систем</i> .
Р 2	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
Р 3	Уметь проектировать <i>электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты</i> .
Р 4	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния <i>электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники</i> , интерпретировать данные и делать выводы.
Р 5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
Р 6	Иметь практические знания принципов и технологий <i>электроэнергетической и электротехнической</i> отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.
Р 7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
Р 8	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
Р 9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
Р 10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
Р 11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.
Р 12	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа ИШЭ

Направление подготовки (специальность) 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Отделение школы (НОЦ) электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ Тютева П.В.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5А6К	Григорьев Иван Андреевич

Тема работы:

Электропривод рулевой рейки автомобиля
<div style="display: flex;"> <div style="flex: 1;">Утверждена приказом директора (дата, номер)</div> <div style="flex: 1; border: 1px solid black;"></div> </div>

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> материалы преддипломной практики; техническая литература; техническая документация.
---	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • введение; • описание технологического процесса; • разработка имитационной модели электропривода рулевой рейки автомобиля; • разработка раздела «финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»; • разработка раздела «социальная ответственность»; • заключение.
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	Имитационная модель электропривода

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кандидат экономических наук Подопригора Игнат Валерьевич

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Все разделы выпускной квалификационной работы написаны на русском языке.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
--	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гусев Николай Владимирович	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6К	Григорьев Иван Андреевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5А6К	Григорьев Иван Андреевич

Школа	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г. Томску Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	30 % премии; 20 % надбавки; 16% накладные расходы; 30% районный коэффициент.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	28% отчисления на социальные нужды

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Анализ конкурентных технических решений. Оценки перспективности проекта по технологии QuaD.
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Формирование плана и графика разработки:
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	-определение структуры работ; -определение трудоемкости работ; -разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: -материальные затраты; -заработная плата (основная и дополнительная); -отчисления на социальные цели; -амортизация; -накладные расходы.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>
2. <i>Оценочная карта QuaD</i>
3. <i>Матрица SWOT</i>
4. <i>Альтернативы проведения НИ</i>
5. <i>График проведения и бюджет НИ</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Подопригора И.В	к.э.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6К	Григорьев И.А		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5А6К	Григорьев Иван Андреевич

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Тема ВКР:

Электропривод рулевой рейки транспортного средства	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Синхронный электропривод рулевого управления колесного транспортного средства. Рабочая зона – испытательная лаборатория. Область применения – автомобили.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	1. ТК РФ, Статья 221. Обеспечение работников средствами индивидуальной защиты. 2. ТК РФ. Глава 15. Рабочее время. Общие положения. 3. Федеральным законом от 24.07.1998 г. № 125-ФЗ «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний». 4. ТК РФ, Статья 213. Медицинские осмотры некоторых категорий работников.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Выявленные вредные и опасные факторы производственной среды: 1. Превышение уровня шума; 2. Механические повреждения; 3. Недостаточная освещенность рабочей зоны; 4. Отклонение показателей микроклимата; 5. Поражение электрическим током.
3. Экологическая безопасность:	Необходимо рассмотреть негативное влияние испытательной лаборатории на гидросферу и литосферу.

4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Наиболее возможные ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения в испытательной лаборатории являются пожар и взрыв. Взрыв – типичная чрезвычайная ситуация, которая может возникнуть в лаборатории.
--	--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева Ирина Леонидовна	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6К	Григорьев Иван Андреевич		

РЕФЕРАТ

Настоящая выпускная квалификационная работа содержит: 98 страниц, 29 рисунков, 22 таблицы.

Ключевые слова: электропривод, синхронный двигатель с постоянными магнитами, рулевая рейка автомобиля, векторное управление.

Объект исследования – система следящего электропривода рулевой рейки транспортного средства.

Предмет исследования – синхронный двигатель с постоянными магнитами.

В данной выпускной квалификационной работе произведен синтез параметров регуляторов синхронного электропривода переменного тока. Электропривод выполнен на основе синхронного двигателя с постоянными магнитами.

Исследования электропривода произведены в программной среде MathLab Simulink. Полученные результаты соответствуют требованиям технического задания.

В работе также были рассмотрены вопросы техники безопасности и экологичности проекта, проведено технико-экономическое обоснование выполненного проекта.

При оформлении дипломного проекта были использованы программы:

- Microsoft Office Word;
- Microsoft Office PowerPoint;
- Microsoft Office Visio;
- Microsoft Office Excel.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	13
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	15
1.1 Усилители рулевого управления электромеханического типа.....	15
1.2 Режимы работы электропривода рулевой рейки.....	18
1.3 Компоновка электропривода рулевого управления.....	20
1.4 Описание устройства «АС-Servo-200»	22
1.5 Описание и работа АС-Servo-200	24
1.6 Выбор закона управления	30
2 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ДВИГАТЕЛЯ.....	31
2.1 Паспортные данные двигателя	31
2.2 Математическое описание синхронного двигателя с постоянными магнитами	32
2.3 Модель синхронной машины в неподвижной системе координат.....	35
2.4 Модель синхронной машины во вращающийся системе координат	37
3 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОЙ ЦЕПИ И СИНТЕЗ КОНТУРОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ	42
3.1 Механическая система	42
3.2 Линеаризованная структурная схема следящего синхронного электропривода	44
3.3 Синтез контуров регулирования синхронным электроприводом	46
3.4 Синтез регулятора тока.....	46
3.5 Оптимизация контура скорости.....	49
3.6 Оптимизация контура положения	51
4 ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА РУЛЕВОЙ РЕЙКИ АВТОМОБИЛЯ	53
5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	61

5.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	61
5.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования	61
5.1.2	Анализ конкурентных технических решений	62
5.1.3	Технология QUAD	65
5.1.4	SWOT-анализ.....	68
5.1.5	Определение возможных альтернатив проведения научных исследований.....	71
5.2	Планирование научно-исследовательских работ	72
5.2.1	Структура работ в рамках научного исследования.....	72
5.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ	73
5.2.3	Разработка графика проведения научного исследования	74
5.3	Бюджет затрат на проектирование	77
5.3.1	Расчет материальных затрат проектирования.....	77
5.3.2	Затраты на заработную плату исполнителей	77
5.3.3	Дополнительная заработная плата исполнителей темы	79
5.3.4	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	80
5.3.5	Амортизация.....	81
5.3.6	Накладные расходы.....	81
5.3.8	Формирование бюджета затрат на проектирование	82
5.4	Вывод по разделу	83
6	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	84
6.1	Введение	84
6.2	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	84
6.3	Производственная безопасность.....	86
6.3.1	Анализ вредных и опасных производственных факторов.....	86
6.3.2	Превышение уровня шума	87
6.3.3	Механические повреждения	88

6.3.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны	89
6.3.5 Отклонение показателей микроклимата.....	90
6.3.6 Поражение электрическим током.....	90
6.4 Экологическая безопасность.....	92
6.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	93
6.6 Выводы по разделу.....	94
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	95
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	96

Введение

Электропривод - энергосиловое устройство для приведения в движение машин и механизмов. Состоит из источника энергии, передаточного механизма и управляющей аппаратуры.

Электропривод один из самых энергоемких потребителей и преобразователей энергии, потребляет энергию только при движении и может использоваться с двигателем любого типа. На сегодняшний день электропривод получил широкое распространение в различных областях техники. Его компактность в связке с доступностью источника энергии позволяют применять его во всех отраслях на основных и вспомогательных операциях. Автомобилестроение не является исключением.

В современном мире в автомобилестроении главными требованиями являются безопасная и качественная работа всех систем транспортного средства. По этой причине в автомобиле существует множество вспомогательных электромеханических органов и узлов, позволяющих водителю облегчить управление и повысить его точность. Одним из таковых является система сервопривода рулевой рейки автомобиля. Задача разработки исполнительного электропривода для управления углом поворота колёс транспортного средства является в настоящее время до сих пор актуальной задачей, поскольку на рынке по-прежнему встречается большая доля моделей, оснащенных гидромеханическим усилителем руля.

Объектом исследования является система следящего электропривода рулевой рейки транспортного средства.

Предметом исследования является синхронный двигатель с постоянными магнитами.

Целью работы является разработка следящего электропривода рулевой рейки для транспортного средства, предназначенного для перевозки пассажиров, с полной массой 2,5 тонны.

Методы исследования. Для выполнения поставленной цели применялся теоретический метод исследования. Теоретическое исследование основано на методах имитационного моделирования.

Практическая значимость результатов ВКР. Результаты данной работы применяются для оптимизации системы управления сервоконтроллера, разработанного «НПФ Мехатроника ПРО», на базе AC-Servo-200.

1 Обзор литературы

1.1 Усилители рулевого управления электромеханического типа

Для уменьшения усилия, которое прилагает водитель при воздействии на рулевое колесо, повысить уровень комфорта и легкости управления транспортным средством, используют электромеханический усилитель руля.

Для решения такой задачи нужно использовать дополнительное воздействие на рулевое колесо, которое можно создать посредством электрического привода [1]. Отсутствие гидравлических элементов в системе повышает ее надежность и создает дополнительные возможности для реализации таких функций, как автоматическая парковка.

К основным преимуществам электроусилителя в сравнении с гидроусилителем можно отнести [2]:

- высокую надежность за счет отсутствия гидравлики: исключается вероятность появления утечек и других неисправностей, характерных для гидравлического усилителя;
- более высокую точность и удобство регулирования рулевого управления;
- экономию топлива за счет того, что электроусилитель работает только во время поворота руля.

Разновидностью ЭМУР является система адаптивного электроусилителя, работающая совместно с системой курсовой устойчивости. Она дает важные преимущества с точки зрения безопасности: корректирует углы поворота колес, повышая устойчивость автомобиля, а также компенсирует недостаточную или избыточную поворачиваемость автомобиля.

- Надежность;
- Возможность реализации автоматического управления автомобилем;
- Простота обслуживания и бесшумная работа;
- Экологическая и технологическая безопасность;

- Возможность управления транспортным средством в случае выхода системы из строя;
- Обеспечение легкости и плавности рулевого управления;
- Обеспечение соответствия между углами поворота управляемых колес и руля;
- Обеспечение пропорциональности между усилием на рулевом колесе и сопротивлением повороту колес;

Помимо вышеперечисленных преимуществ ЭМУР имеет несколько недостатков по сравнению со своим гидравлическим конкурентом:

- строгие требования к габаритам привода не позволяют использовать мощные электродвигатели;
- сложности, связанные с настройкой системы управления при проектировании новой модели автомобиля;
- при поломке усилителя, для уменьшения трудоемкости ремонтных работ, его заменяют единым сборным узлом.

По компоновке электроусилители подразделяют на два вида, в зависимости от того, куда прикладывается усилие электродвигателя: на вал рулевого колеса, или на рулевую рейку.

Наиболее востребован привод ЭМУР на рейку рулевого механизма.

Электромеханический усилитель такого типа по своей конструкции разделяется на два подвида:

- с двумя шестернями;
- с параллельным приводом.

Базовые элементы ЭМУР с двумя шестернями представлены на рисунке 1.

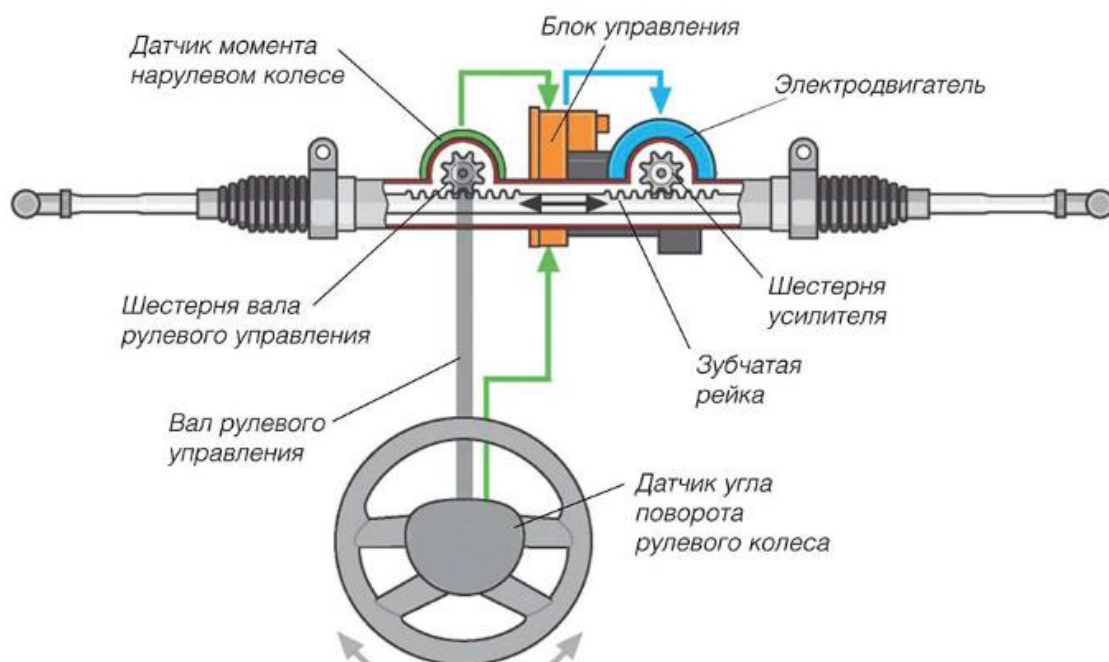


Рисунок 1 - ЭМУР с двумя шестернями

Передача крутящего момента к рейке рулевого механизма от электродвигателя осуществляется путем механической передачи. Две шестерни в данном виде ЭМУР нужны для раздельной передачи крутящего момента на рулевую рейку, одна обеспечивает момент от рулевого колеса, другая - от электродвигателя. Под такие задачи предусмотрено два участка зубьев.

Базовые элементы ЭМУР с параллельным приводом представлены на рисунке 2.



Рисунок 2 - ЭМУР с параллельным приводом

Данный вид электроусилителя для передачи крутящего момента использует ременную передачу и специальный шариковинтовой механизм [1].

Для управления системой электропривода применяются:

- входные датчики (датчик угла поворота рулевого колеса и датчик крутящего момента, расположенный на рулевом колесе);
- исполнительное устройство – электродвигатель усилителя;
- электронный блок (служит для обработки сигналов с датчиков и в соответствии с заложенной программой вырабатывает управляющее воздействие на исполнительное устройство);
- блока управления ABS (датчик скорости);
- датчик частоты коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания.

1.2 Режимы работы электропривода рулевой рейки

Электропривод рулевой рейки обеспечивает работу рулевого управления автомобиля в следующих режимах [2]:

- поворот автомобиля в обычных условиях;
- поворот автомобиля на малой скорости;
- поворот автомобиля на большой скорости;

- активный возврат колес в среднее положение;
- поддержание среднего положения колес;

Поворот автомобиля осуществляется поворотом рулевого колеса. Крутящий момент от рулевого колеса передается через торсион на рулевой механизм. Закрутка торсиона измеряется датчиком крутящего момента, угол поворота рулевого колеса – датчиком угла поворота рулевого колеса. Информация от датчиков, а также информация о скорости автомобиля, частоте вращения коленчатого вала двигателя, передаются в электронный блок управления.

Блок управления рассчитывает необходимую величину крутящего момента электродвигателя усилителя и путем изменения величины силы тока обеспечивает ее на электродвигателе. Крутящий момент от электродвигателя передается на рейку рулевого механизма и далее, через рулевые тяги, на ведущие колеса.

Таким образом, поворот колес автомобиля осуществляется за счет объединения усилий, передаваемых от рулевого колеса и электродвигателя усилителя.

Поворот автомобиля на небольшой скорости обычно производится при парковке. Он характеризуется большими углами поворота рулевого колеса. Электронная система управления обеспечивает в данном случае максимальный крутящий момент электродвигателя, соответствующий значительному усилению рулевого управления (т.н. «легкий руль»).

При повороте на высокой скорости, напротив электронная система управления обеспечивает наименьший крутящий момент и минимальное усиление рулевого управления (т.н. «тяжелый руль»).

Система управления может увеличивать реактивное усилие, возникающее при повороте колес. Происходит т.н. активный возврат колес в среднее положение.

При эксплуатации автомобиля нередко возникает потребность в поддержании среднего положения колес (движение при боковом ветре, разном

давлении в шинах). В этом случае система управления обеспечивает коррекцию среднего положения управляемых колес.

В программе управления электроусилителя руля предусмотрена компенсация увода переднеприводного автомобиля, вызванного различной длиной приводных валов.

В ряде систем активной безопасности электроусилитель функционирует без участия водителя. В системе курсовой устойчивости он обеспечивает обратное подруливание колес, а в парковочном автопилоте - автоматическую параллельную и перпендикулярную парковку [5].

При разработке сервопривода рулевой рейки беспилотного транспортного средства, следует учитывать, что усилие, передаваемое от обода руля может отсутствовать полностью и компенсирующий момент рулевого механизма обусловлен исключительно электромагнитным моментом двигателя. Это значит, что двигатель, используемый в составе электропривода рулевого управления беспилотного транспорта должен иметь более высокий номинальный и кратковременный электромагнитный момент.

Среди представленных режимов работы электропривода рулевого управления следует выделить наиболее тяжелый – поворот колес на месте, когда автомобиль находится на сухом асфальтобетонном покрытии, т.к. в таком случае обеспечивается максимальный коэффициент сцепления с поверхностью, а, следовательно, и максимальный статический момент нагрузки. По этой причине данный режим является расчетным, максимальный момент сопротивления повороту колес принимаем как максимальный момент статической нагрузки электропривода.

1.3 Компоновка электропривода рулевого управления

На некоторых отечественных автомобилях, таких как Lada Granta, Lada Priora, Lada Kalina устанавливают электродвигатели электроусилителя руля с так называемым, прямым приводом, это значит, что ось электродвигателя представляет собой часть рулевого вала [3]. При такой компоновке, двигатель

приходится использовать гораздо более мощный, высокой точностью позиционирования вала по углу поворота. Однако, конструкция механической части предельно проста.

В данный момент такая компоновка является самым дешевым и распространенным вариантом электроприводов усилителей руля для автомобилей отечественного производства. Учитывая эти факторы было принято решение рассматривать именно этот вариант компоновки для разработки следящего электропривода рулевого управления

Исследование электропривода производится на базе существующего электромеханического усилителя рулевого управления автомобилей семейства ВАЗ (рисунок 3).

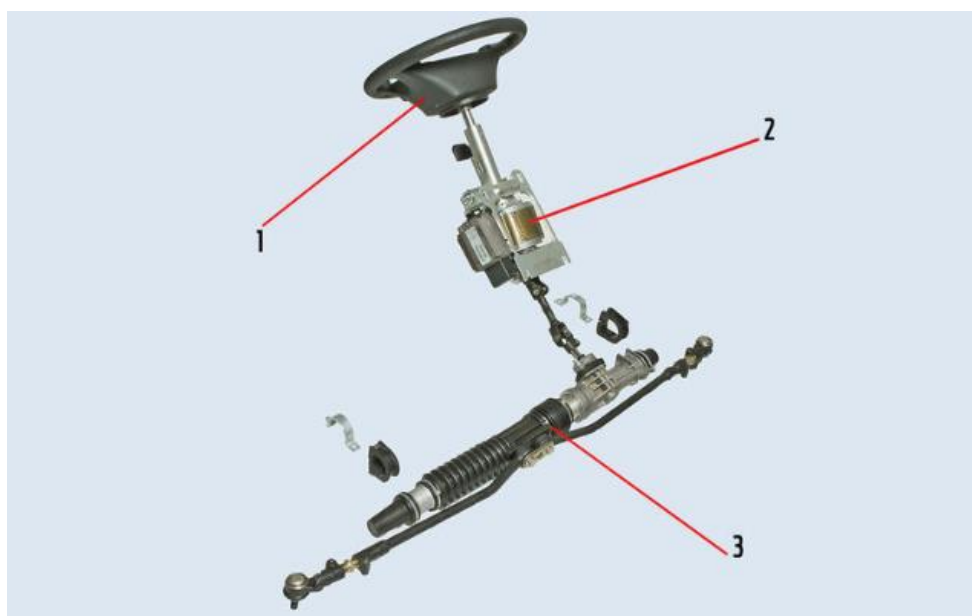


Рисунок 3 – Внешний вид электропривода усилителя рулевого управления

На рисунке приняты обозначения:

1 – рулевое колесо, 2 – синхронный электродвигатель с постоянными магнитами, 3 – механизм рулевой рейки.

В составе данного усилителя руля используется синхронный двигатель с постоянными магнитами. Синхронный двигатель обеспечивает нужный уровень позиционирования и габаритов при повышенном уровне мощности.

Упомянутый усилитель рулевого управления имеет трехфазный синхронный двигатель рулевой колонки производства АО «СЭГЗ» со следующими основными техническими характеристиками, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Основные характеристики синхронного двигателя с постоянными магнитами

Название параметра	Значение
Номинальная мощность, Вт	530
Фазное напряжение питания, В	14,5
Активное сопротивление, Ом	0,5
КПД, %	76
$\cos\varphi$, о.е.	0.93
Масса, кг	5,6
Число пар полюсов	8
Частота питающего напряжения, Гц	66,67
Номинальная частота вращения, об/мин	500

Данный двигатель предназначен для работы с преобразователем частоты, встроенным в блок управления усилителем руля, который питается от бортовой сети транспорта (12/24 В).

1.4 Описание устройства «AC-Servo-200»

Сервоконтроллер предназначен для управления серводвигателем, с параметрами согласно исполнению.

К сервоконтроллеру предусмотрено подключение следующих датчиков [4]:

1) инкрементальный энкодер – для получения сигнала скорости вращения с вала электродвигателя или выходного вала механизма;

2) внешний абсолютный энкодер с интерфейсом SSI, который может быть установлен на выходном валу рабочего органа.

В сервоконтроллере реализованы следующие аппаратные защиты:

- защита силовых ключей инвертора от сквозного тока;
- защита от короткого замыкания – максимально-токовая.

В штатное ПО сервоконтроллера встроены следующие программные защиты:

- от превышения тока нагрузки (время-токовая защита);
- защита силовых ключей инвертора от перенапряжений в звене постоянного тока;
- защита силовых ключей инвертора от перегрева;
- защита от пониженного напряжения силового питания;
- от обрыва фаз силовой сети или чрезмерного понижения напряжения сети;
- от обрыва одной или нескольких фаз электродвигателя.

С основными техническими параметрами контроллера AC-Servo-200 можно ознакомиться в таблице 2.

Таблица 2 - Основные технические параметры AC-Servo-200

Параметр	описание
Питание	Исполнение AC-Servo-200: 18-100 VDC
Основные типы двигателей	<ul style="list-style-type: none">• Синхронный трехфазный• BLDC• Двигатель постоянного тока

Допустимый выходной ток (действующее значение)	Длительный 12 А Кратковременный 25 А
Интерфейс датчиков обратной связи	<ul style="list-style-type: none"> • Инкрементальный энкодер 5 В • SSI (синхронно–последовательный интерфейс) • Датчики Холла 5В • Синусно-косинусный энкодер
Коммуникации	<ul style="list-style-type: none"> • RS-485, изолированный • RS-485, неизолированный • Ethernet • CAN 2.0
Масса сервоконтроллера, г	Не более 700
Индикация	3 светодиода
Воздействие механических ударов многократного действия при пиковом ускорении	15g длительностью 5 – 10 мс

1.5 Описание и работа AC-Servo-200

Функциональная схема процессорной платы сервоконтроллера приведена на рисунке 4.

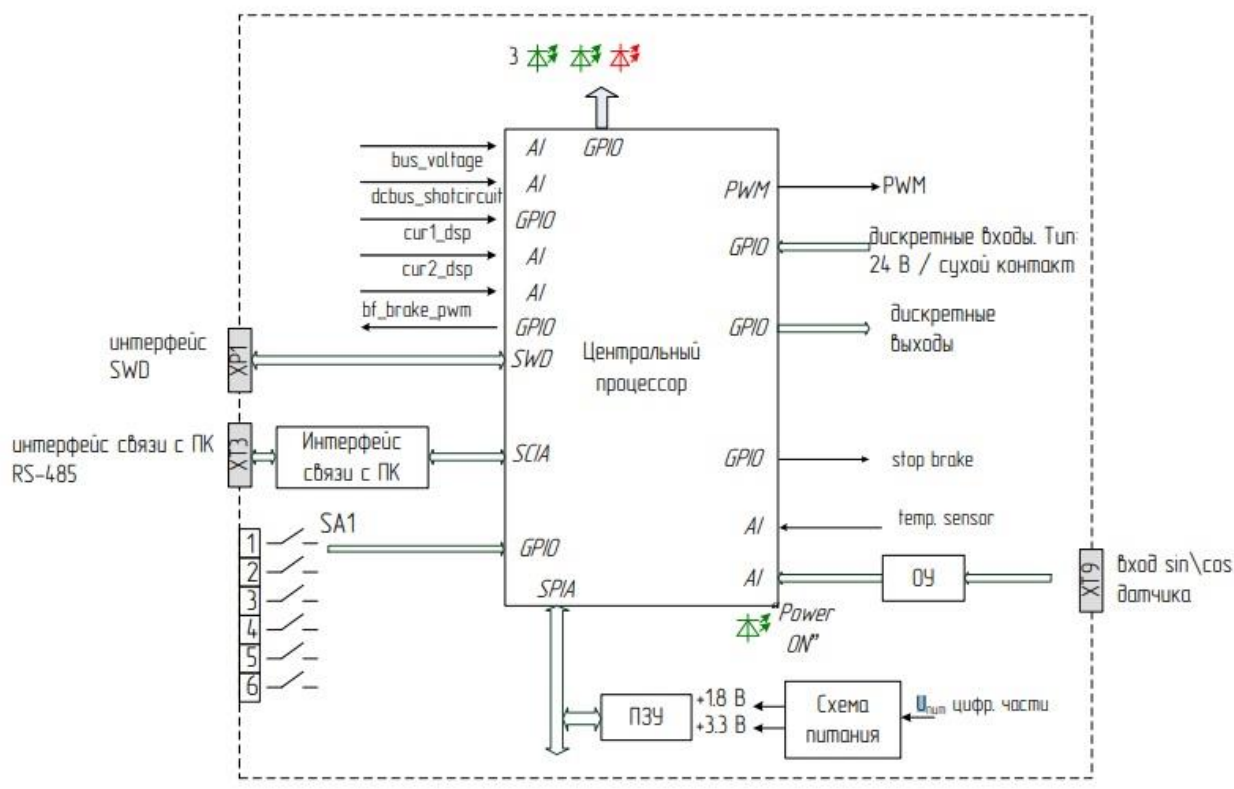


Рисунок 4 – Функциональная схема процессорной платы

Сервоконтроллер представляет собой электронное устройство, предназначенное для управления и защиты трёхфазным синхронным электродвигателем. На разъем XT1 подаётся постоянное напряжение в диапазоне, зависящем от исполнения сервоконтроллера. К разъему XT2 подключается электродвигатель.

При динамическом торможении возможны три способа утилизации генерируемой энергии:

- использование аккумуляторных батарей для питания сервоконтроллера. Генерируемая энергия поглотится аккумулятором;
- использование тормозного резистора. Этот вариант, только при не продолжительных и редких режимах динамического торможения без отдачи энергии в бортовую сеть;
- использование внешнего тормозного резистора. При частых и продолжительных режимах динамического торможения необходимо вместо установленного тормозного резистора подключить более мощный тормозной резистор, подходящей мощности.

Функциональная схема силовой платы сервоконтроллера проиллюстрирована на рисунке 5. В состав силовой платы входит трехфазный инвертор напряжения, на транзисторных ключах в количестве шести элементов и диоды обратного тока, которые соединяются в общий мост и подключаются параллельно с источником питания. Подача управляющих сигналов происходит одновременно сразу к трем силовым транзисторам.

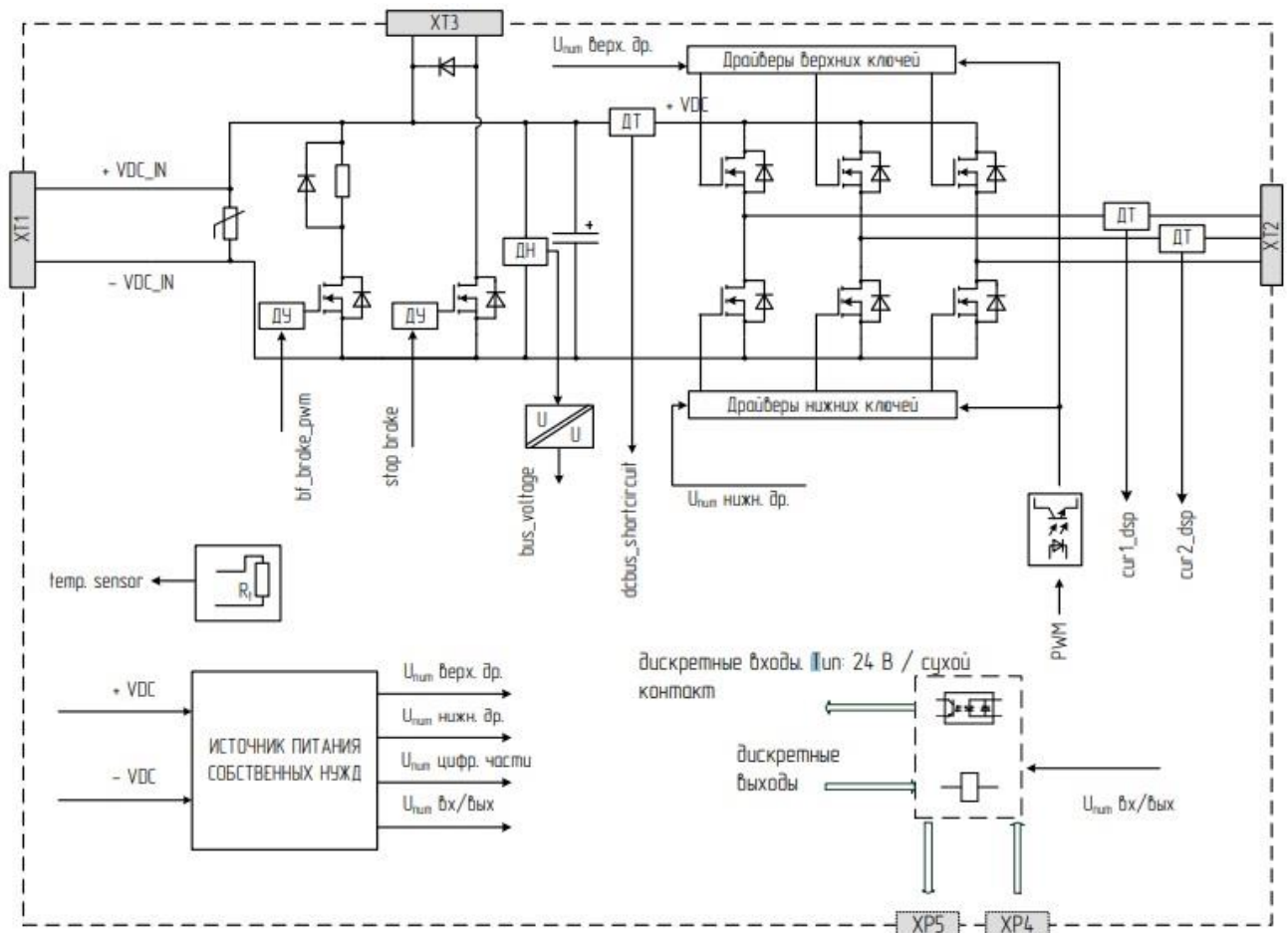


Рисунок 5 – Функциональная схема силовой платы

На рисунке 6 представлен внешний вид сервоконтроллера в корпусе, с расположением и нумерацией его разъемов.

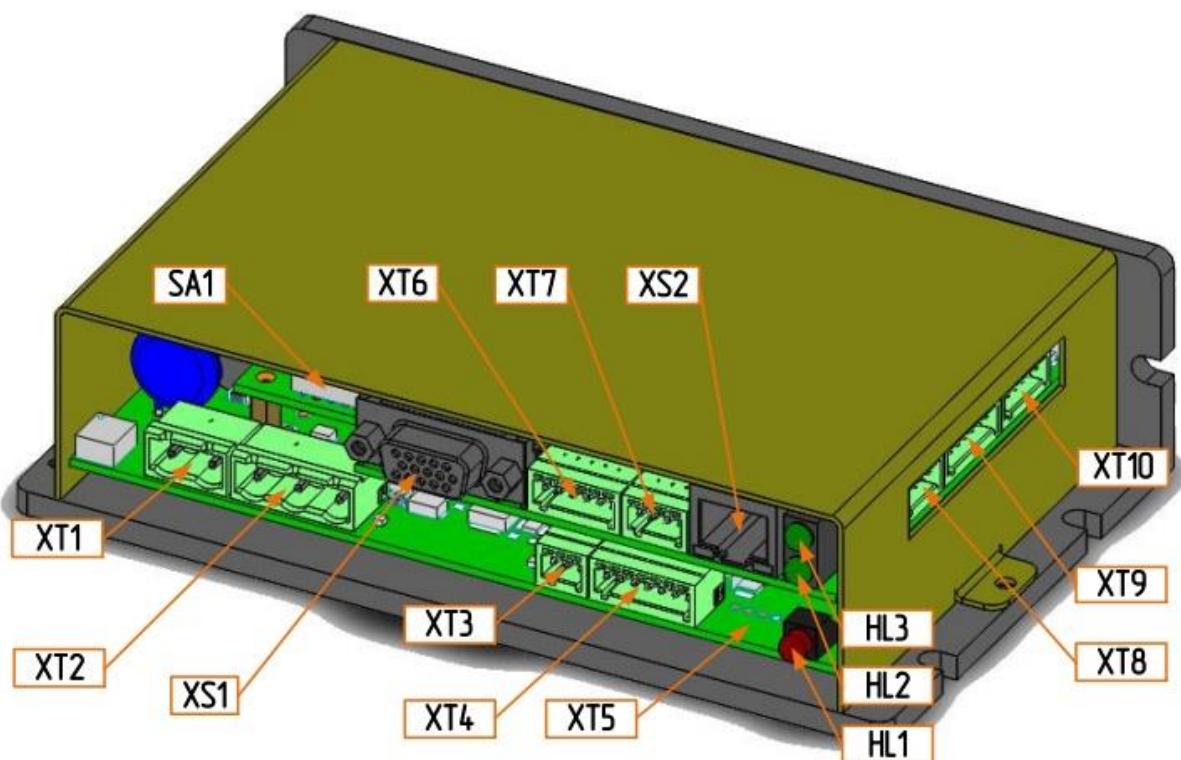


Рисунок 6 – Расположение разъемов

Назначение выводов разъемов и их описание приводится в таблице 3.

Таблица 3 – Назначение выводов разъемов

Разъем	Контакт	Цепь	Назначение
XT1	1	+ U пит	подключение силового питания
	2	- U пит	
XT2	1	Фаза U	подключение двигателя
	2	Фаза V	
	3	Фаза W	
XT3	1	+VDC	подключение электромагнита
	2	OUT	
	3	GND	
XT4	1	DI1	изолированные дискретные входы
	2	DI2	
	3	DI3	
	4	DI4	
	5	COM1	

Продолжение таблицы 3 – Назначение выводов разъёмов

XT4	6	+U1	
	7	резерв	
XT5	1	DOUT1	изолированные дискретные выходы (открытый коллектор)
	2	DOUT2	
	3	DOUT3	
	4	DOUT4	
	5	COM2	
XT6	1	+5 В	подключение абсолютного энкодера с интерфейсом SSI
	2	Clock+	
	3	Clock-	
	4	Data+	
	5	Data-	
	6	GND	
XT7	1	A (Data +)	изолированный интерфейс RS- 485-1
	2	B (Data -)	
	3	COM	
	4	TR	
XT8	1	DI5	неизолированные дискретные входы
	2	DI6	
	3	DI7	
	4	DI8	
	5	GND	
XT9	1	AIN1+	неизолированные аналоговые входы
	2	AIN1-	
	3	AIN2+	
	4	AIN2-	
	5	+5 В_A	

Окончание таблицы 3 - Назначение выводов разъёмов

XT9	6	GND_A	
	7	резерв	
XT10	1	A (Data +)	Неизолированный RS-485-2.
	2	B (Data -)	
	3	GND	
	4	TR	
	5	CANH	
	6	CANL	
XS1	1	A+	Сигнал A+, B+ энкодера
	2	B+	
	3	GND	
	4	Hall W	Сигнал W, U датчиков Холла
	5	Hall U	
	6	-	резерв
	7	Z+	Сигнал Z+, Z- энкодера
	8	Z-	
	9	Hall V	Сигнал Z датчика Холла
	10	-	резерв
	11	A-	Сигнал A-, B- энкодера
	12	B-	
	13	+5 В	Питание датчиков
	14	-	резерв
	15	-	резерв
XS2	1	TX+	Ethernet 10Mb.
	2	TX-	
	3	RX+	
	6	RX-	

1.6 Выбор закона управления

Векторное управление - метод управления бесщеточными электродвигателями переменного тока, который позволяет независимо и практически безынерционно регулировать скорость вращения и момент на валу электродвигателя.

Главная идея векторного управления заключается в том, чтобы контролировать не только величину и частоту напряжения питания, но и фазу. Другими словами, контролируется величина и угол пространственного вектора. Векторное управление в сравнении со скалярным обладает более высокой производительностью. Векторное управление избавляет практически от всех недостатков скалярного управления.

Преимущества векторного управления:

- высокая точность регулирования скорости;
- плавный старт и плавное вращение двигателя во всем диапазоне частот;
- быстрая реакция на изменение нагрузки: при изменении нагрузки практически не происходит изменения скорости;
- увеличенный диапазон управления и точность регулирования;
- снижаются потери на нагрев и намагничивание, повышается КПД электродвигателя.

К недостаткам векторного управления можно отнести:

- необходимость задания параметров электродвигателя;
- большие колебания скорости при постоянной нагрузке;
- большая вычислительная сложность.

На рисунке 7 представлена угловая характеристика синхронной машины.

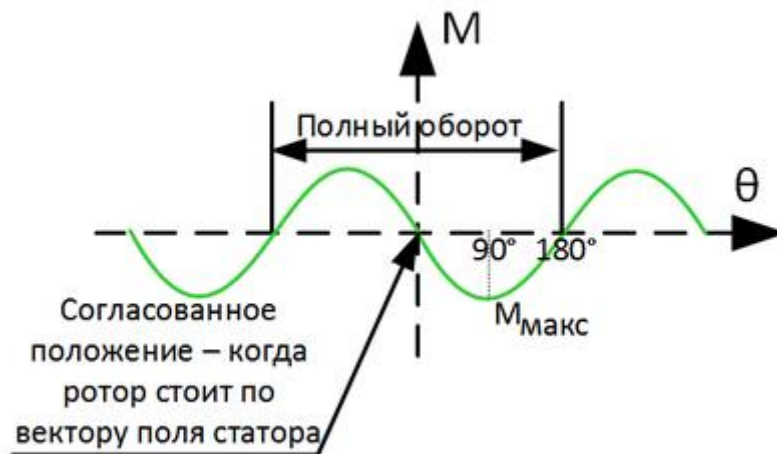


Рисунок 7 - Угловая характеристика синхронной машины

Иными словами, опираясь на угловую характеристику, следует, что двигатель развивает наибольший свой момент, когда ротор находится под 90° к вектору тока. Так как мы при создании системы управления на микроконтроллере хотим получить от двигателя наибольший момент при минимуме потерь, а потери, в первую очередь, это ток в обмотках, то рациональнее всего ставить вектор тока всегда под 90° к магнитному полю ротора, т.е. перпендикулярно магниту на рисунке 1. Нужно поменять всё наоборот – не ротор едет к задаваемому нами вектору тока, а мы задаем вектор тока всегда под 90° к ротору, как бы он там не вращался, т.е. «прибить» вектор тока к ротору. Регулировать же момент двигателя будем амплитудой тока. Чем больше амплитуда – тем выше момент. Именно это и называется векторным управлением – когда мы управляем вектором тока статора так, чтобы он был под 90° к магнитному полю ротора.

2 Расчет параметров двигателя

2.1 Паспортные данные двигателя

Рассчитываем параметры электродвигателя.

Синхронная угловая скорость вращения электродвигателя:

$$\omega = \frac{\pi n_n}{30} = \frac{3,14 \cdot 500}{30} = 52,33 \text{ рад / с}$$

Номинальный момент:

$$M_n = \frac{P_n}{\omega} = \frac{530}{52,33} = 10,13 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Максимальный момент:

$$M_{\max} = k_{\text{пер}} M_n = 3 \cdot 10,13 = 30,39 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Индуктивность статора:

$$L_s = 0,3 \cdot \frac{U_\phi}{I_n \cdot p \cdot \omega} = \frac{0,3 \cdot 14,5}{20 \cdot 8 \cdot 52,33} = 0,00525 \text{ Гн}$$

Максимальный ток электродвигателя:

$$I_{\max} = k_{\text{пер}} \cdot I_{\text{дв.н}} = 3 \cdot 20 = 60 \text{ А}$$

Для синхронного двигателя с постоянными магнитами справедливо следующее равенство:

$$\frac{I_{\max}}{I_n} = \frac{P_{\max}}{P_n}$$

Исходя из этого, определим максимальную мощность двигателя:

$$P_{\max} = \frac{P_n \cdot I_{\max}}{I_n} = \frac{530 \cdot 60}{20} = 1,59 \text{ кВт}$$

2.2 Математическое описание синхронного двигателя с постоянными магнитами

В современных следящих системах электроприводов используется синхронная машина, в которой управление токами статорных обмоток осуществляется в функции углового положения ротора, измеряемого датчиком положения ротора. Рассмотрим физическую модель синхронной вентильной машина, изображенную на рисунке 8 [7].

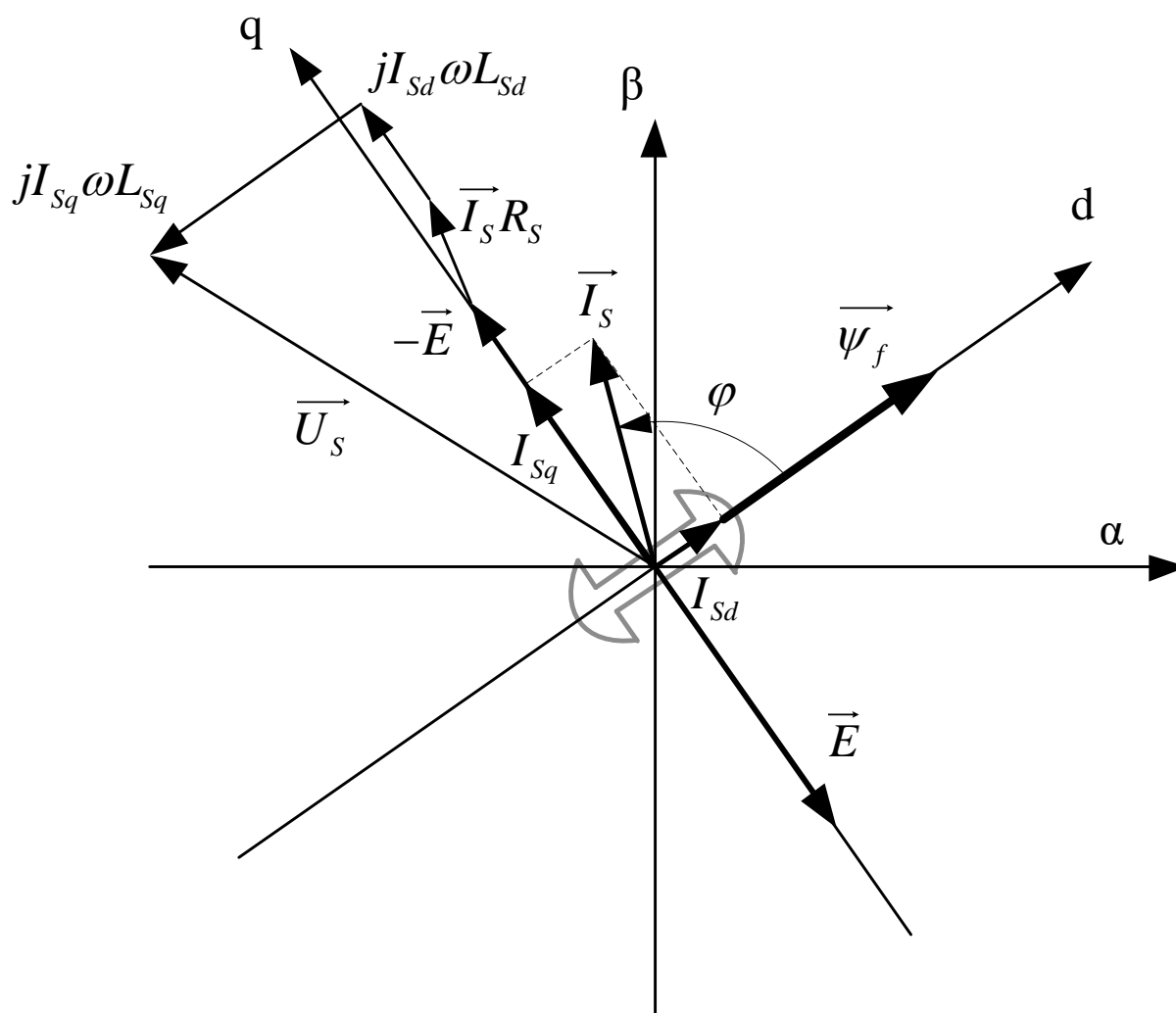


Рисунок 8 - Физическая модель синхронной машины с постоянными магнитами

$\overline{U_A}, \overline{U_B}, \overline{U_C}$ – векторы фазных напряжений;

$\overline{U_s}$ – пространственный вектор напряжения;

$\overline{\Phi_0}$ – пространственный вектор магнитного потока ротора (машина с возбуждением от постоянных магнитов);

$d'q'(\alpha\beta)$ – неподвижная система координат;

$dq(xy)$ – вращающаяся система координат.

При построении математической модели двигателя приняты следующие допущения:

- отсутствуют: насыщение магнитной цепи, потери в стали, эффект вытеснения тока;
- обмотки статора симметричны;

- индуктивность рассеяния не зависит от положения ротора в пространстве;
- отсутствует вязкое трение в подшипниках ротора.

С учетом этих допущений уравнения равновесия ЭДС на обмотках статора в неподвижной системе координат, базирующиеся на втором законе Кирхгофа (ротор не имеет обмоток) запишутся в виде:

$$\left. \begin{aligned} U_A &= R_A i_A + \frac{d\psi_A}{dt} \\ U_B &= R_B i_B + \frac{d\psi_B}{dt} \\ U_C &= R_C i_C + \frac{d\psi_C}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где для машины с возбуждением от постоянных магнитов

$$\left. \begin{aligned} \psi_A &= L_A i_A + \Phi_0 \cos \omega t \\ \psi_B &= L_B i_B + \Phi_0 \cos(\omega t - 120^\circ) \\ \psi_C &= L_C i_C + \Phi_0 \cos(\omega t + 120^\circ) \end{aligned} \right\},$$

$\Phi_0 = \text{const}$ – магнитный поток создаваемый постоянными магнитами статора.

Для преобразования уравнений в мгновенных значениях к уравнениям в пространственных векторах умножим первое уравнение на $\frac{2}{3}$, второе - на $\frac{2}{3}a$, третье - на $\frac{2}{3}a$, и сложим, тогда получим

$$\left. \begin{aligned} U_s &= R_s \bar{i}_s + \frac{d\bar{\psi}_s}{dt} \\ \bar{\psi}_s &= L_s \bar{i}_s + \Phi_0 e^{j\omega t} = L_s \bar{i}_s + \bar{\Phi}_0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где L_s – индуктивность статора, $\bar{\psi}_s$ – вектор потокосцепления статора, $\bar{\Phi}_0$ – вектор магнитного потока от постоянных магнитов ротора.

Электромагнитный момент, развиваемый на валу двигателя равен:

$$M = \frac{3}{2} z_p \cdot |\bar{\psi}_s \times \bar{i}_s|, \quad (3)$$

Уравнения равновесия моментов на валу двигателя (основное уравнение электромеханики):

$$J \frac{d\omega_m}{dt} = M - M_c, \quad (4)$$

$\omega_m = \frac{\omega}{z_p}$, z_p – число пар полюсов.

2.3 Модель синхронной машины в неподвижной системе координат

Таким образом, уравнения синхронной машины в пространстве:

$$\left. \begin{aligned} U_s &= R_s i_s + L_s \frac{d\bar{i}_s}{dt} + j\omega \bar{\Psi}_s \\ M &= \frac{3}{2} z_p \cdot |\bar{\Psi}_s \times \bar{i}_s| \\ J \frac{d\omega_m}{dt} &= M - M_c \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Разложим уравнения по осям неподвижной системы координат ($\alpha\beta$):

$$\left. \begin{aligned} U_{s\alpha} &= R_s i_{s\alpha} + L_s \frac{d\bar{i}_{s\alpha}}{dt} - \omega \bar{\Psi}_\beta \\ U_{s\beta} &= R_s i_{s\beta} + L_s \frac{d\bar{i}_{s\beta}}{dt} - \omega \bar{\Psi}_\alpha \\ M &= \frac{3}{2} z_p \cdot (\bar{\Psi}_\alpha i_{s\beta} - \bar{\Psi}_\beta i_{s\alpha}) \\ J \frac{d\omega_m}{dt} &= M - M_c \end{aligned} \right\}, \quad (6)$$

Опираясь на систему уравнений (2) для потокосцепления $\bar{\Psi}$, распишем проекции пространственного вектора на оси α и β , и в итоге получим:

$$\left. \begin{aligned} \bar{\Psi}_\alpha &= \bar{\Psi}_s \cos \omega t = L_a i_{s\alpha} + \Phi_0 \cos \omega t \\ \bar{\Psi}_\beta &= \bar{\Psi}_s \sin \omega t = L_\beta i_{s\beta} + \Phi_0 \sin \omega t \end{aligned} \right\}, \quad (7)$$

где L_α L_β , – индуктивности обмоток статора по продольной и поперечной осям ротора соответственно. Для частного случая неявнополюсной машины

$$L_\alpha = L_\beta = L_S .$$

Для машины с постоянными магнитами:

$$\frac{d\Phi_0}{dt} = 0; \quad \Phi_0 = const.$$

Откуда с учетом условия (7) перепишем систему (6) в виде:

$$\left. \begin{aligned} U_{s\alpha} &= R_S i_{s\alpha} + L_S \frac{d\bar{i}_{s\alpha}}{dt} - \omega \Phi_0 \sin \omega t \\ U_{s\beta} &= R_S i_{s\beta} + L_S \frac{d\bar{i}_{s\beta}}{dt} + \omega \Phi_0 \cos \omega t \\ M &= \frac{3}{2} z_p \cdot (i_{s\beta} (L_S i_{s\alpha} + \Phi_0 \cos \omega t) - i_{s\alpha} (L_S i_{s\beta} + \Phi_0 \sin \omega t)) \\ J \frac{d\omega_m}{dt} &= M - M_c \end{aligned} \right\} . \quad (8)$$

Структурная схема, соответствующая системе уравнений показана на рисунке 9.

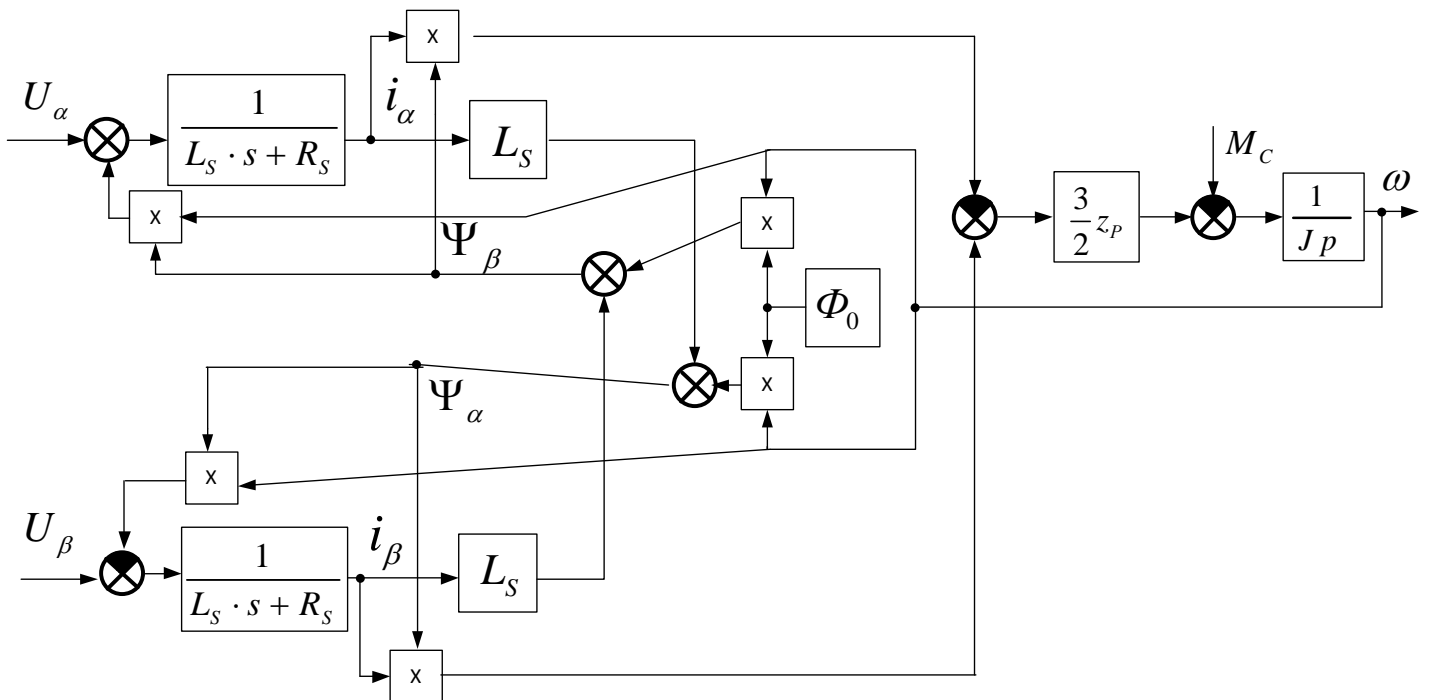


Рисунок 9 - Структурная схема синхронного двигателя в неподвижной системе координат

2.4 Модель синхронной машины во вращающийся системе координат

Для упрощения расчетов динамических процессов в двигателе вводится вращающаяся система координат с ориентацией по положению ротора синхронной машины.

При переходе из неподвижной во вращающуюся систему и обратно из вращающейся в неподвижную систему пользуются преобразователями координат. Математическая основа преобразования поясняется рисунке 10.

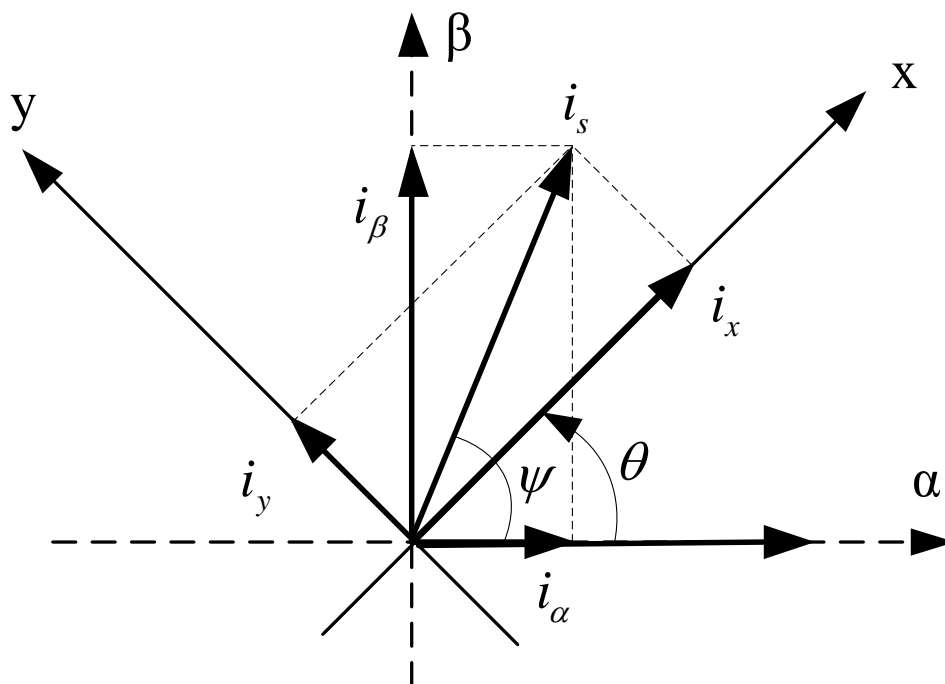


Рисунок 10 - Математическая основа преобразования координат

В неподвижной системе координат ($\alpha\beta$) вектор тока (напряжения, потокосцепления) может быть представлен в алгебраической и показательной форме:

$$\overline{i_s} = i_\alpha + j i_\beta = I_m e^{j\psi}.$$

Аналогично во вращающейся системе координат (xy) тот же самый вектор может быть представлен в виде:

$$\overline{i_{s.BP}} = i_x + j i_y = I_m e^{j(\psi-\theta)} = \overline{i_s} \cdot e^{-j\theta}.$$

Отсюда легко получить уравнения перехода от неподвижной системы координат к вращающейся и наоборот:

$$\left. \begin{aligned} i_x &= i_a \cos \theta + i_\beta \sin \theta \\ i_y &= -i_a \sin \theta + i_\beta \cos \theta \end{aligned} \right\}, \quad (9)$$

$$\left. \begin{aligned} i_a &= i_x \cos \theta - i_y \sin \theta \\ i_\beta &= i_x \sin \theta + i_y \cos \theta \end{aligned} \right\}. \quad (10)$$

Эти уравнения получили название соответственно прямого (9) и обратного (10) преобразования Парка.

Имитационные модели преобразователей, составленные по уравнениям (9), (10) представлены на рисунке 11, 12.

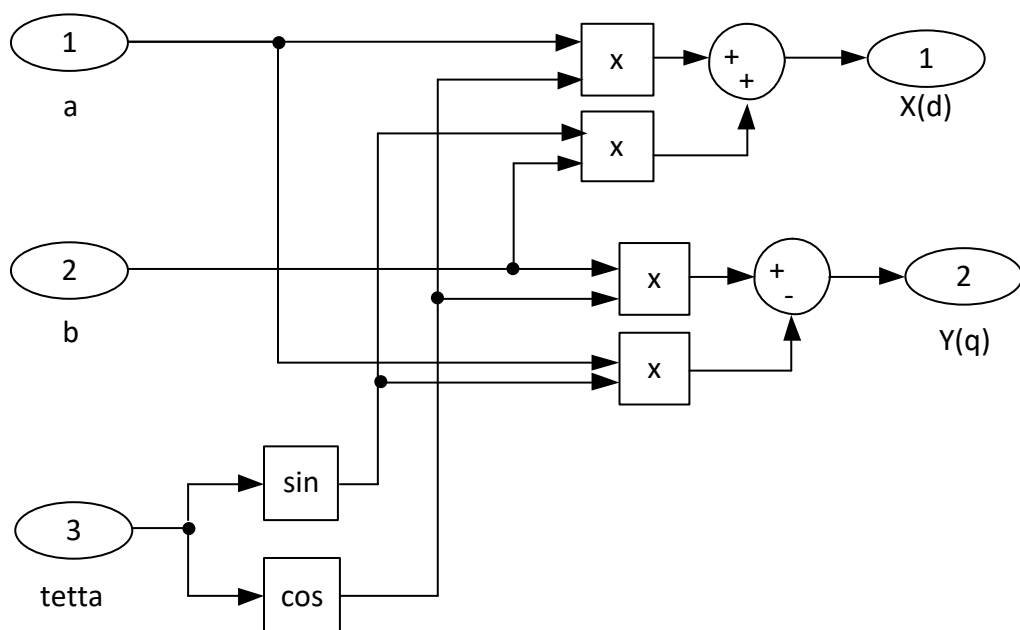


Рисунок 11 - Прямое преобразование Парка

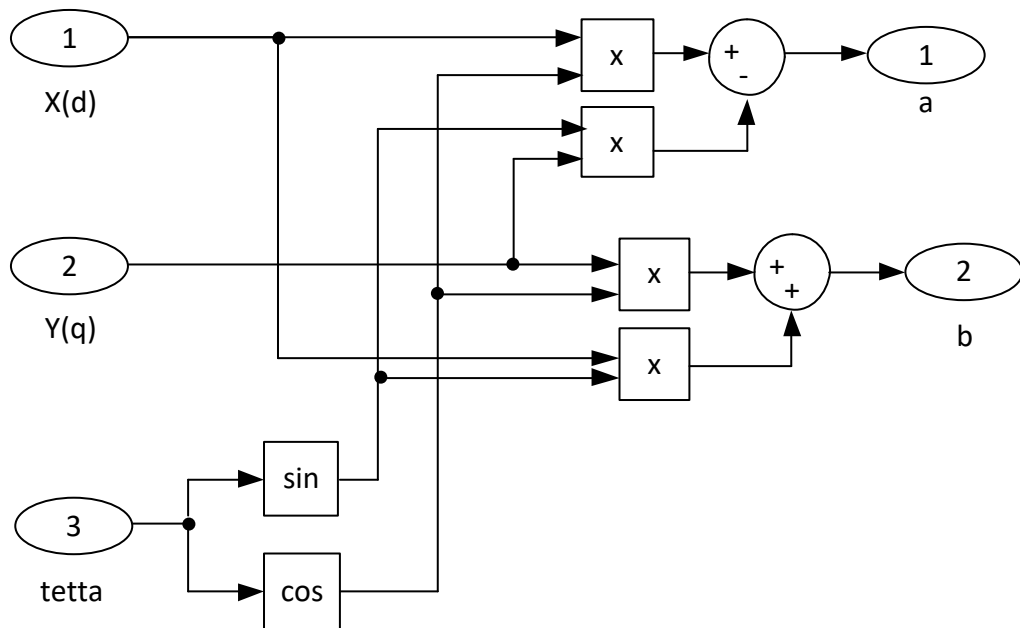


Рисунок 12 - Обратное преобразование Парка

При построении реальных систем электропривода переменного тока, как синхронных, так и асинхронных, практически всегда в систему управления включается преобразователи координат. Это обусловлено тем, что реализация регуляторов возможна лишь во вращающейся системе координат, а реальные токи, протекающие в обмотках статора – это вектора в неподвижной системе координат.

Поэтому, как правило, современные электропривода переменного тока содержат преобразователи обоих типов. Кроме того, они содержат преобразователи фаз 2 к 3 и 3 к 2. Первые преобразовывают токи i_α, i_β в фазные токи i_A, i_B, i_C в соответствии с выражениями:

$$i_A = i_\alpha, \quad i_B = -\frac{1}{2}i_\alpha + \frac{\sqrt{3}}{2}i_\beta, \quad i_C = -\frac{1}{2}i_\alpha - \frac{\sqrt{3}}{2}i_\beta.$$

А вторые преобразовывают фазные токи i_A, i_B, i_C в проекции i_α, i_β в соответствии с выражениями:

$$i_\alpha = i_A, \quad i_\beta = \frac{i_B - i_C}{\sqrt{3}}.$$

В итоге функциональная схема электропривода приобретает вид, представленный на рисунке 13.

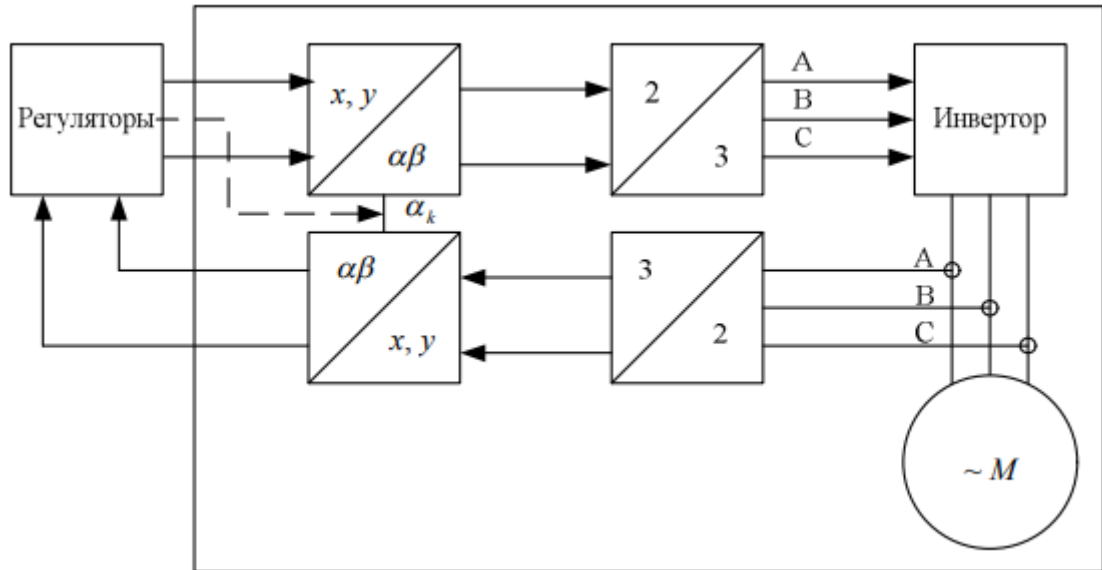


Рисунок 13 - Функциональная схема электропривода переменного тока

Введем в рассмотрение систему координат (dq) связанную с ротором и вращающуюся вместе с ним. Ее скорость вращения всегда равна синхронной скорости. Вектор потока, создаваемого постоянными магнитами ротора вентильной машины может быть представлен пространственным вектором, неподвижным относительно ротора и вращающегося вместе с ним, а, следовательно, вместе с системой координат (dq). Поэтому направив ось d по вектору потока ротора, можно избавиться от проекции вектора на ось q. Таким образом имеем:

$$\left. \begin{aligned} \overline{\Phi_0} &= \overline{\Phi_d} \\ 0 &= \Phi_q \end{aligned} \right\}.$$

Разложим систему (2) в осях вращающейся системе координат (dq) на проекции:

$$\left. \begin{aligned} U_{sd} &= R_s i_{sd} + L_s \frac{d\overline{i_{sd}}}{dt} - \omega \Psi_q \\ U_{sq} &= R_s i_{sq} + L_s \frac{d\overline{i_{sq}}}{dt} - \omega \Psi_d \\ M &= \frac{3}{2} z_p \cdot (\Psi_q i_{s\beta} - \Psi_d i_{s\alpha}) \\ J \frac{d\omega_m}{dt} &= M - M_c \end{aligned} \right\}. \quad (11)$$

На оси d и q , с учетом второго уравнения системы (2), проекция пространственного вектора потокосцепления $\bar{\Psi}$ запишется как:

$$\left. \begin{aligned} \Psi_d &= L_d i_{sd} + \Phi_0 \\ \Psi_q &= L_q i_{sq} \end{aligned} \right\}. \quad (12)$$

Для частного случая неявнополюсной машины $L_d = L_q = L_s$.

С учетом (12) система (11) запишется в виде:

$$\left. \begin{aligned} U_{sd} &= R_s i_{sd} + L_s \frac{d i_{sd}}{dt} - \omega L_s \cdot i_{sq} \\ U_{sq} &= R_s i_{sq} + L_s \frac{d i_{sq}}{dt} + \omega L_s \cdot i_{sd} + \omega \Phi_0 \\ M &= \frac{3}{2} z_p \cdot (i_{sd} (L_s \cdot i_{sq}) - i_{sq} (L_s \cdot i_{sd} + \Phi_0)) \\ J \frac{d \omega_m}{dt} &= M - M_c \end{aligned} \right\}. \quad (13)$$

Структурная схема двигателя, соответствующая системе (12) показана на рисунке 14.

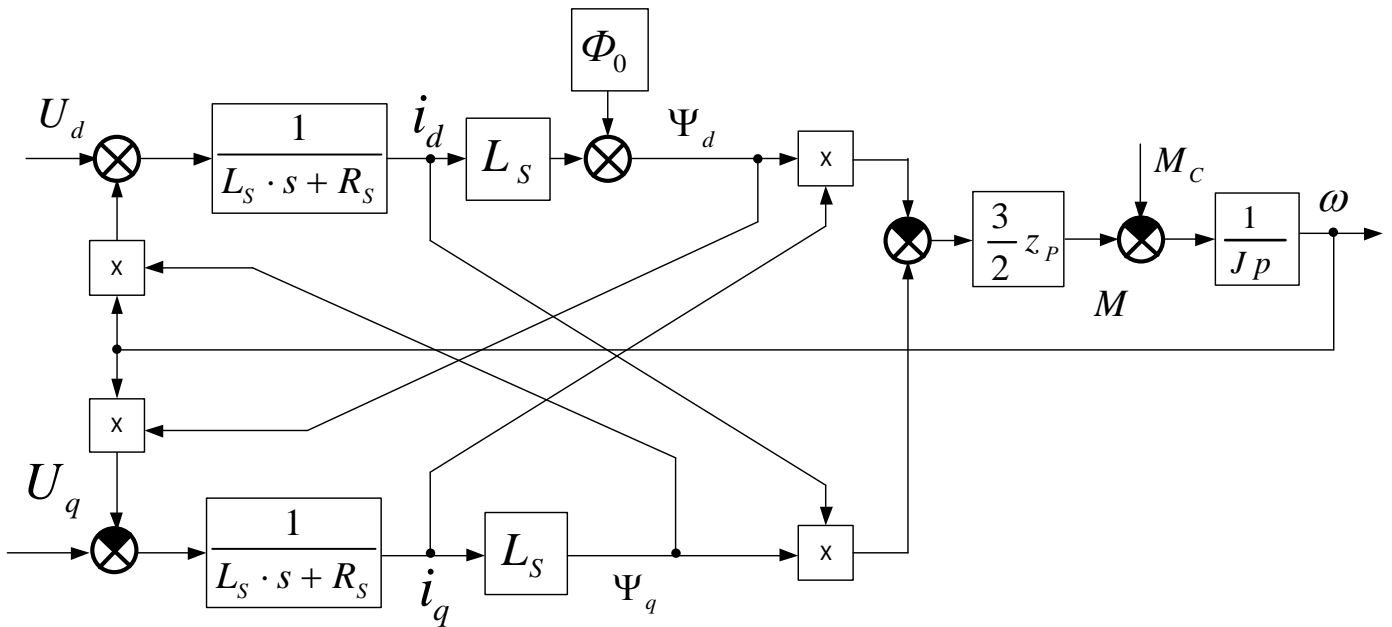


Рисунок 14 - Структурная схема синхронного двигателя во вращающейся системе координат

3 Расчет параметров элементов силовой цепи и синтез контуров регулирования

3.1 Механическая система

Согласно расчетным данным из [6], момент сопротивления пары управляемых колес, приходящийся на автомобиль (нагруженный) с массой в 2.5 т составляет порядка 240 Н·м с учетом потерь на механические передачи рулевого управления. Учитывая большую величину момента на валу электродвигателя, следует установить редуктор следующим звеном после электродвигателя.

Общую систему имитационного электропривода можно представить несколькими основными блоками:

- двигатель, отвечающий за электромеханические преобразования;
- преобразователь частоты, регулирующий электрическое преобразование энергии;
- механическая система нагрузки.

В основу структурной схемы силового канала электропривода (рисунок 15) заложена структурная схема двухфазного синхронного двигателя во вращающейся системе координат.

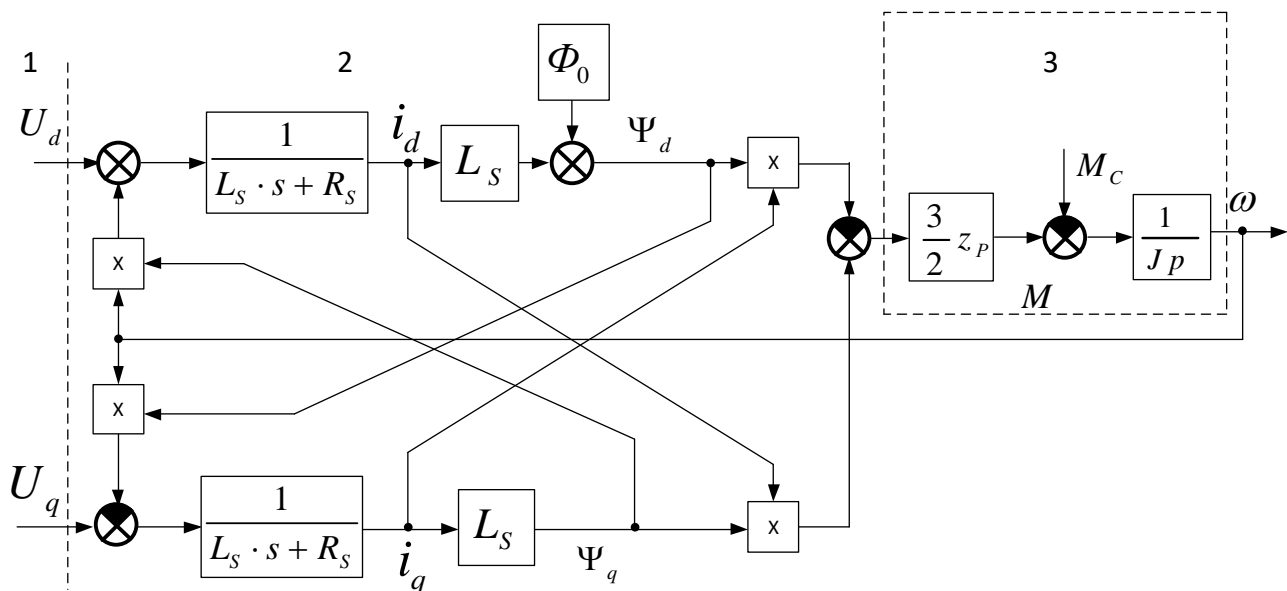


Рисунок 15 – Структурная схема силового канала синхронного электропривода

В данной системе учтены обратные связи от электродвигателя. На рисунке 16 обозначены:

- 1 – преобразователь;
- 2 – асинхронный двигатель во вращающейся системе координат;
- 3 – одномассовая механическая система.

В отсутствие явных упругих связей механическая система принята одномассовой. Однако, в системе есть несколько механических звеньев (электродвигатель, редуктор, рулевой механизм), имеющих свой момент инерции. Необходимо рассчитать приведенный момент инерции механизма к валу электродвигателя.

При кратковременном моменте сопротивления механизма равному 240 Н·м и максимальном моменте электродвигателя выбираем передаточное число редуктора:

$$i = \frac{M_{\text{мех}}}{M_{\text{макс}}} = \frac{240}{30} = 8 \quad (14)$$

В подобных механических системах выбирают планетарные редуктора (также можно использовать и другие редуктора, что повлечет за собой изменение в компоновках, так, чтобы водитель сидящий за рулем

транспортного средства совершая 2 оборота рулевого колеса, а двигатель делал 16), имеющие при малых габаритах относительно большое передаточное число.

Момент инерции редуктора принимаем исходя из [16]: $J_{ред}=0,367 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$.

Момент инерции механизма рулевого управления принимаем: $J_{мех}=0,377 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$.

Рассчитаем момент инерции, приведенный к валу двигателя:

$$J_{\Sigma} = J_{ов} + \frac{J_{ред}}{i^2} + \frac{J_{мех}}{i^2 \cdot i_{pn}^2} = 0,0054 + \frac{0,367}{8^2} + \frac{0,377}{8^2 \cdot 1,3^2} = 0,015 \text{ кг}\cdot\text{м}^2, (15)$$

где i_{pn} - передаточное число рулевого механизма.

3.2 Линеаризованная структурная схема следящего синхронного электропривода

Согласно разделу 2, линеаризованная структурная схема следящего синхронного электропривода представлена на рисунке 16.

Данная схема наглядно описывает строение подчиненного регулирования следящего электропривода, принимая некоторые допущения такие как принятие в учет силового преобразователя в качестве апериодического звена с постоянной времени, равной периоду ШИМ, а также безинерционность цепей обратной связи.

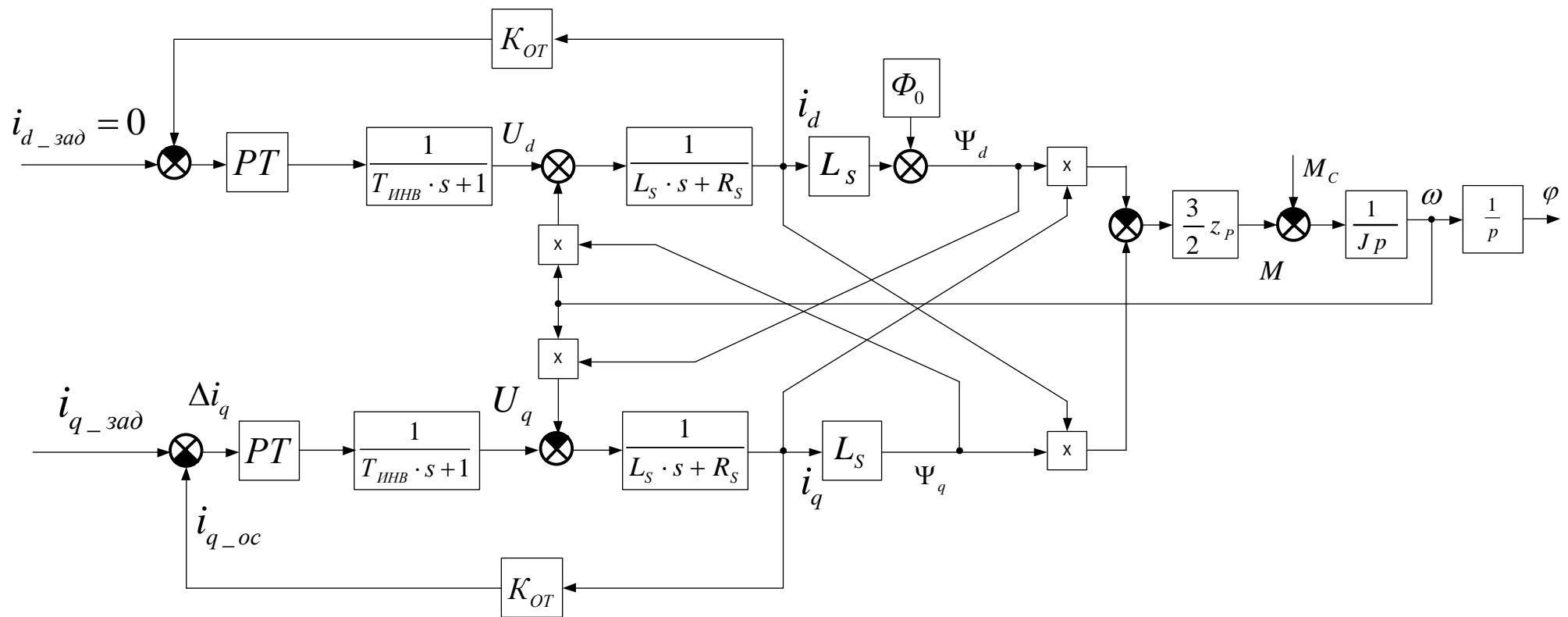


Рисунок 16 – Линеаризованная структурная схема электропривода рулевой рейки автомобиля

3.3 Синтез контуров регулирования синхронным электроприводом

Когда рассматривают синтез контуров регулирования электроприводом рулевой рейки транспортного средства нужно правильно расставить приоритеты и определиться, какой контур играет важную роль в построении системы (и является системообразующим), а без каких можно обойтись, рассматривая управления рулевым колесом автомобиля при помощи человека.

Так как в данном типе электропривода важно уметь управлять моментом, и с учетом особенности векторного управления синхронным двигателем с постоянными магнитами (что момент, прямо пропорционален через некий коэффициент току) главная роль отводится синтезу регулятора тока.

Оптимизация контура скорости и положения носит скорее в данной выпускной квалификационной работе второстепенный характер и закладывает базу под дальнейшую работу с рулевой рейкой, направленной на беспилотное управление транспортным средством.

3.4 Синтез регулятора тока

Структурная схема контура тока приведена на рисунке 17. Контур I_d , I_q одинаковые. Оптимизацию проведем на примере контура I_q .

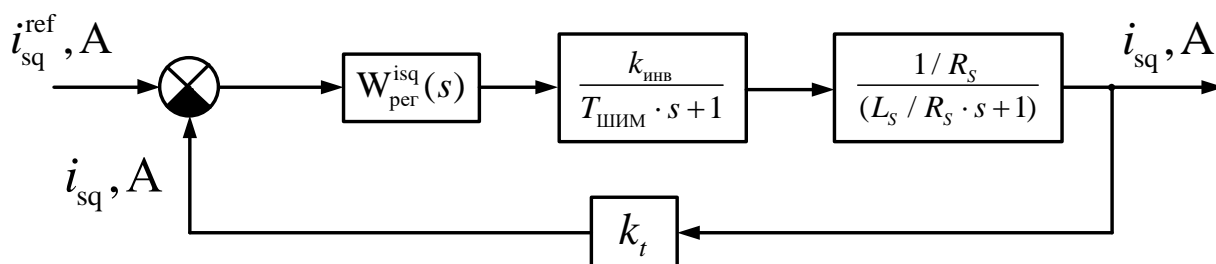


Рисунок 17 – Структурная схема контура тока по оси q

Оптимизация проводится без учёта влияния обратной связи по ЭДС двигателя и влияния изменения угла между вектором потока от постоянных магнитов и вектором напряжений.

Учитывая, что динамические свойства датчика тока определяются пропорциональным звеном, запишем передаточную функцию разомкнутого контура тока:

$$W_{\text{кт}}(s) = W_{\text{рт}}(s) \frac{K_{\text{инв}} k_t}{R_s} \cdot \frac{1}{(T_{\text{шим}} s + 1)(T_{\text{э}} s + 1)}.$$

Коэффициент передачи датчика тока примем $k_t = 1$.

Частота широтно-импульсной модуляции: $f_{\text{шим}} = 5 \text{ кГц}$.

Постоянная времени инвертора: $T_{\text{шим}} = \frac{1}{f_{\text{шим}}} = \frac{1}{5000} = 0,0002 \text{ сек}$.

Постоянная времени инвертора ($T_{\text{шим}}$) относится к малой постоянной времени. Электромагнитная постоянная времени ($T_{\text{э}}$) подлежит компенсации. Поэтому для настройки контура тока на модульный оптимум следует выбрать ПИ-регулятор с передаточной функцией:

$$W_{\text{рт}}(s) = \frac{K_{\text{рт}}(T_{\text{рт}} s + 1)}{T_{\text{рт}} s}.$$

Постоянная времени регулятора тока: $T_{\text{рт}} = T_{\text{э}} = \frac{L_s}{R_s} = \frac{0,00525}{33,6} = 0,0105$,

где L_s – индуктивность обмотки статора;

R_s – сопротивление обмотки статора.

Коэффициент пропорциональности ПИ-регулятора:

$$K_{\text{рт}} = \frac{L_s}{a_t \cdot T_{\text{шим}} \cdot K_t \cdot K_{\text{инв}}} = \frac{0,00525}{2 \cdot 0,0002 \cdot 1 \cdot 155} = 0,0845,$$

где $a_t = 2$ – коэффициент оптимизации контура.

Ожидаемые показатели качества работы контура тока:

Используя осциллограф, который поставлен в имитационной модели по обратной связи в контуре тока, появляется возможность сравнить два значения – заданное и текущее. График этого переходного процесса изображен на рисунке 18.

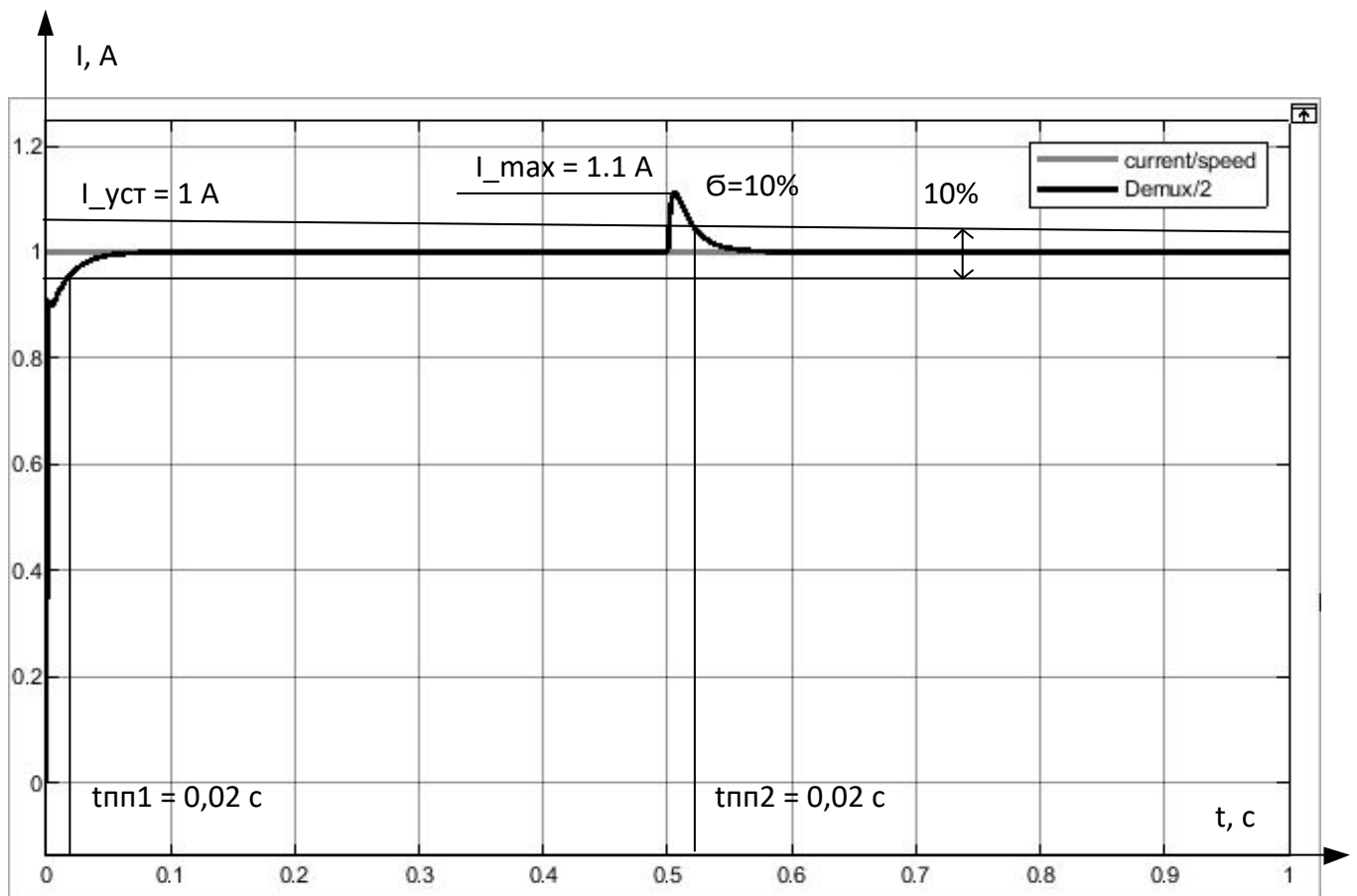


Рисунок 18 – График переходного процесса в контуре тока

По графику видно, что текущее значение равно заданному. Следовательно, контур рассчитан правильно. Помимо этого, из рисунка 19 можем получить следующие параметры переходного процесса:

- установившаяся ошибка $\Delta I_{уст} = 0$;
- первое перерегулирование $\sigma = 0\%$;
- время первого переходного процесса (при пуске) составил 0,02 с.
- время второго переходного процесса составил 0,02 с (при изменении внешнего воздействия) - 0,02 с.
- второе перерегулирование $\sigma = 10\%$;

3.5 Оптимизация контура скорости

Настройку контура скорости произведём на симметричный оптимум.

Структурная схема контура тока приведена на рисунке 19.

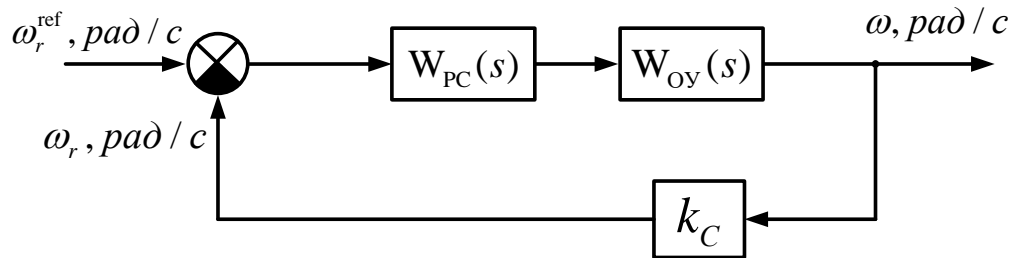


Рисунок 19 – Структурная схема контура скорости

Передаточная функция разомкнутого контура скорости, оптимизированного на симметричный оптимум, имеет вид:

$$W_{\text{ПК}}^{\text{CO}}(s) = W_{\text{PC}}(s) \cdot W_{\text{OY}}(s) \cdot k_C,$$

где $W_{\text{PC}}(s)$ – передаточная функция регулятора скорости;

$W_{\text{OY}}(s) = W_{\text{ЗПТ}}^{\text{МО}}(s) \cdot \Phi_0 \cdot \frac{3}{2} z p \cdot \frac{1}{J_{\Sigma} \cdot s} \cdot k_C$ – передаточная функция объекта управления.

Коэффициент обратной связи по скорости k_C примем равным единице.

Передаточная функция регулятора скорости:

$$W_{\text{PC}}(s) = k_{\text{PC}} \frac{T_{\text{PC}} s + 1}{T_{\text{PC}} s}$$

Коэффициент пропорциональности контура скорости:

$$k_{\text{PC}} = \frac{J_{\text{ДВ}}}{2 \cdot T_{\text{КС}} \cdot \Phi_0 \cdot 1,5 \cdot z p \cdot k_C \cdot L_s} = \frac{0,0015}{2 \cdot 0,0004 \cdot 0,2 \cdot 1,5 \cdot 8 \cdot 0,00525} = 148,81,$$

где $T_{\text{КС}} = 2 \cdot T_{\text{ШИМ}} = 2 \cdot 0,0002 = 0,0004$ сек - малая некомпенсируемая постоянная времени контура скорости.

Постоянная времени регулятора скорости:

$$T_{\text{PC}} = \frac{2 \cdot J_{\text{ДВ}}}{k_{\text{PC}} \cdot k_C \cdot 1,5 \cdot z p \cdot \Phi_0 \cdot L_s} = \frac{2 \cdot 0,0015}{148,81 \cdot 1 \cdot 0,2 \cdot 1,5 \cdot 8 \cdot 0,00525} = 0,0016 \text{ сек.}$$

Для получения графика переходного процесса по скорости и сравнения задающего воздействия и полученного текущего значения воспользуемся аналогичной возможностью для скорости, поставив в имитационной модели по обратной связи в соответствующем контуре измерительный прибор. Полученный результат представлен на рисунке 20.

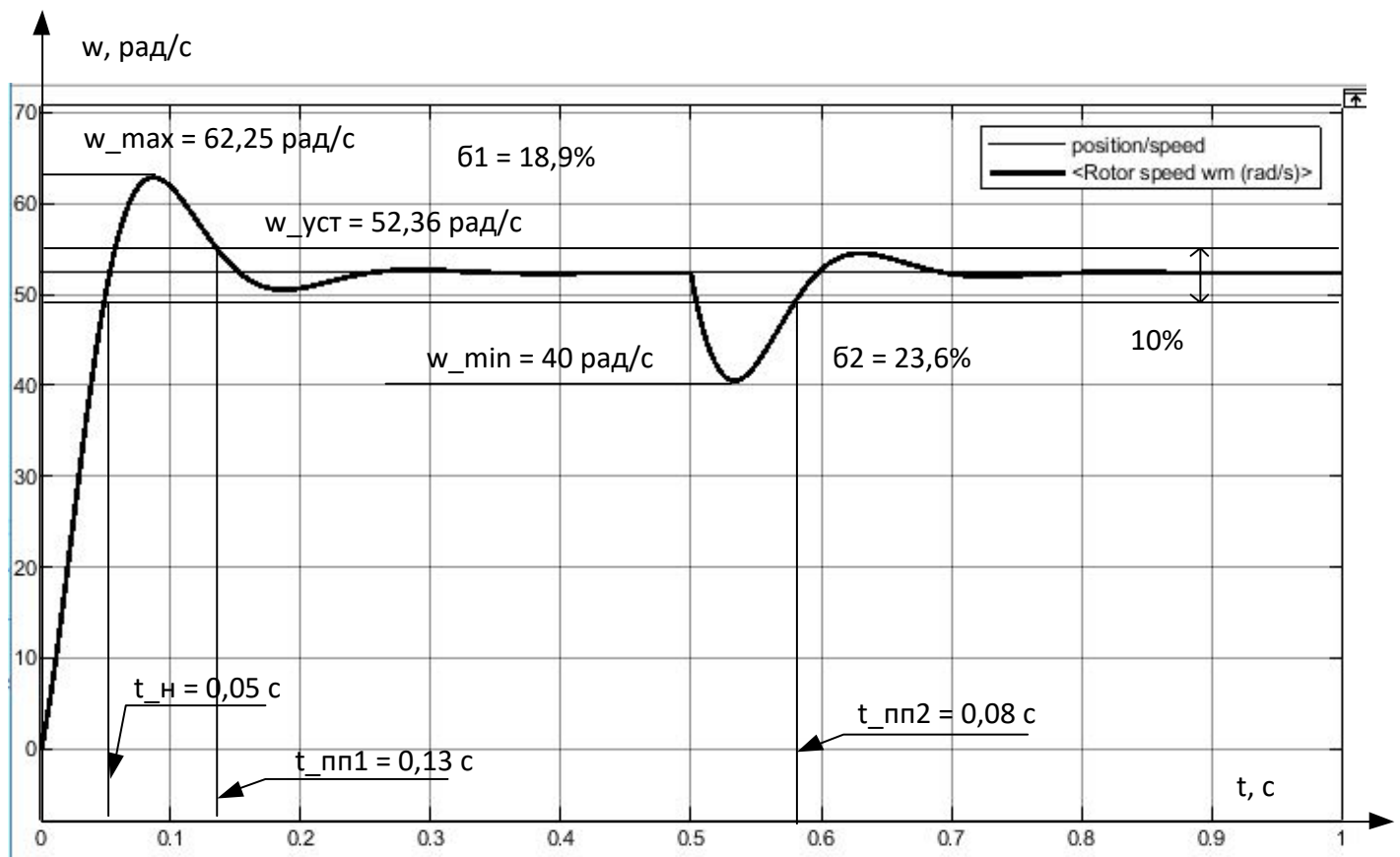


Рисунок 20 – График переходного процесса в контуре скорости

По графику видно, что текущее значение равно заданному. Следовательно, контур рассчитан правильно. Помимо этого, из рисунка 21 можем получить следующие параметры переходного процесса:

установившаяся ошибка $\Delta\omega_{уст} = 0$;

первое перерегулирование $\sigma = 18,9\%$;

время нарастания составило 0,05 с;

время переходного процесса равно (при пуске) - 0,13 с;

второе перерегулирование $\sigma = 23,6\%$;

время второго переходного процесса (полученное при изменении внешнего воздействия) - 0,08 с.

3.6 Оптимизация контура положения

Структурная схема контура положения с безынерционной обратной связью представлена на рисунке 21.

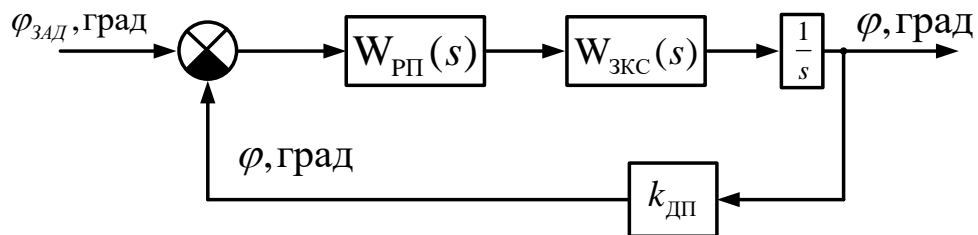


Рисунок 21 – Структурная схема контура положения

Сигнал положения в модели измеряется в градусах.

Для математической модели коэффициент обратной связи датчика положения рассчитывается следующим образом:

$$K_{\text{дп}} = \frac{360}{2 \cdot \pi} = 57,296$$

Малая постоянная времени контура положения:

$$T_{\text{кп}} = 2 \cdot T_{\text{кс}} = 2 \cdot 0,0004 = 0,0008 \text{ сек}$$

Для оптимизации контура положения по МО выбирается П-регулятор с передаточной функцией:

$$W_{\text{рп}}(s) = K_{\text{рп}} = \frac{K_c}{K_{\text{дп}} \cdot \alpha_n \cdot T_{\text{кп}}} = \frac{1}{57,296 \cdot 2 \cdot 0,0008} = 10,9,$$

где α_n – коэффициент оптимизации контура.

Используя элемент scope из основной библиотеки Matlab, получим график переходного процесса по контуру положения, где также, как и в вышеописанных контурах для выводов применяется сравнительный анализ на основе задающего угла положения в градусах, и отработанного приводом угла – текущего. Результат изображен на рисунке 22.

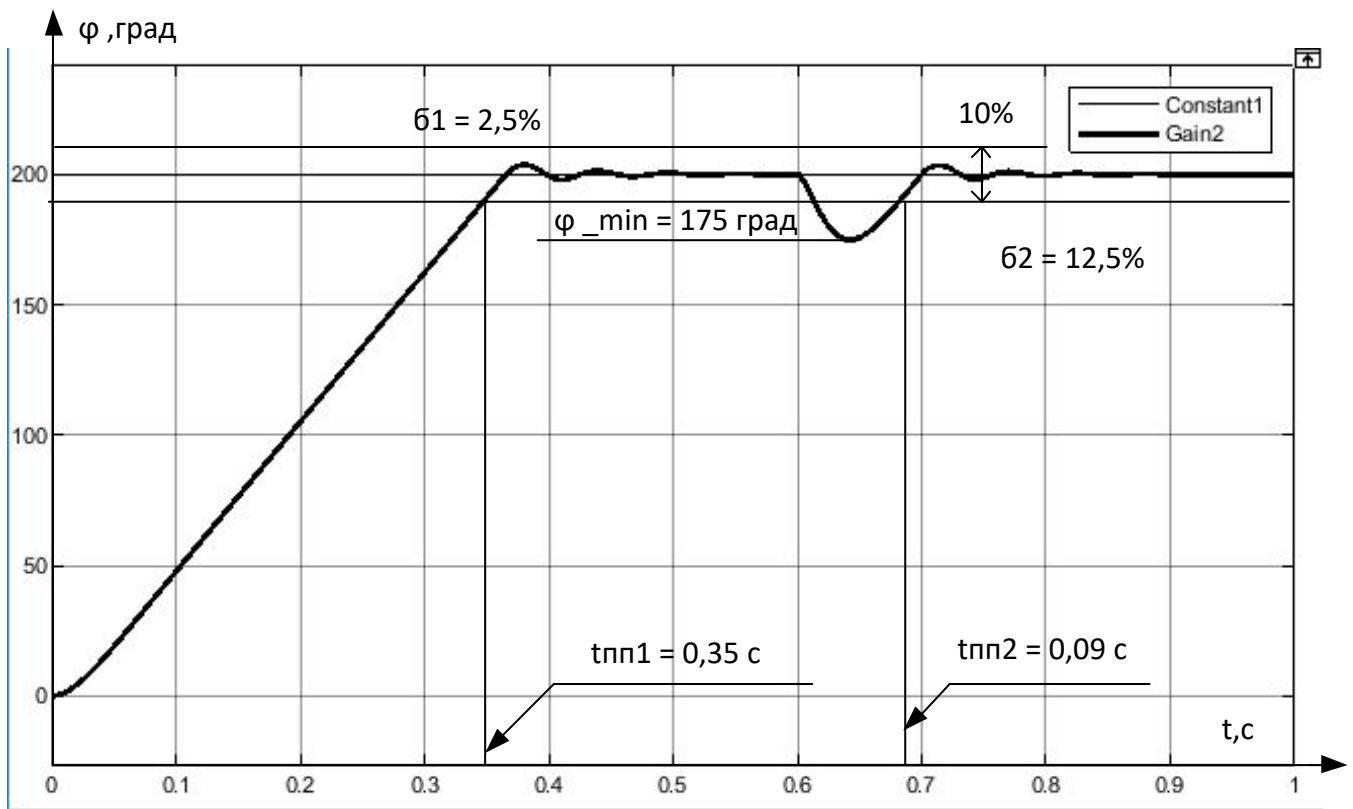


Рисунок 22 – График переходного процесса в контуре положения

По графику видно, что текущее значение равно заданному. Следовательно, контур рассчитан правильно. Помимо этого, из рисунка 23 можем получить следующие параметры переходного процесса:

установившаяся ошибка $\Delta\omega_{уст} = 0$;

время первого переходного процесса (при пуске) – 0,35 с;

первое перерегулирование $\sigma = 2,5\%$;

время второго переходного процесса (при изменении внешнего воздействия) равно - 0,09 с;

второе перерегулирование $\sigma = 12,5\%$;

4 Имитационное моделирование электропривода рулевой рейки автомобиля

Для моделирования процессов работы электропривода рулевой рейки автомобиля воспользуемся программной средой Matlab Simulink. На рисунке 23 представлена имитационная модель электропривода рулевой рейки автомобиля в среде Matlab Simulink с управлением рулевым колесом посредством человеческого вмешательства в процесс. Иными словами, только с отрицательной обратной связью по контуру тока, для того чтобы осуществлять управление по моменту.

На рисунке 24 проиллюстрирована имитационная модель электропривода рулевой рейки автомобиля в среде Matlab Simulink с возможностью применения в беспилотных транспортных средствах, поскольку в составе данной модели имеется помимо контура обратной связи по току контуры отрицательной обратной связи по скорости и положению.

Помимо вышесказанного модель состоит из целого ряда измерительных приборов, позволяющих делать оценку о корректности проведенных вычислений и работоспособности самой модели, ПИ-регулятора токов I_q (моментаобразующий ток) и I_d (ток, который сонаправлен с «магнитом ротора», поэтому мы задаём его равным нулю), ПИ-регулятора скорости, П-регулятора положения, блоков констант, (при помощи которых задается на модель задание и внешнее воздействие), а также преобразовательных блоков (один из которых осуществляет преобразование величины скорости из рад/с в об/мин на выходе с СДПМ, а два других отвечают за преобразование координат).

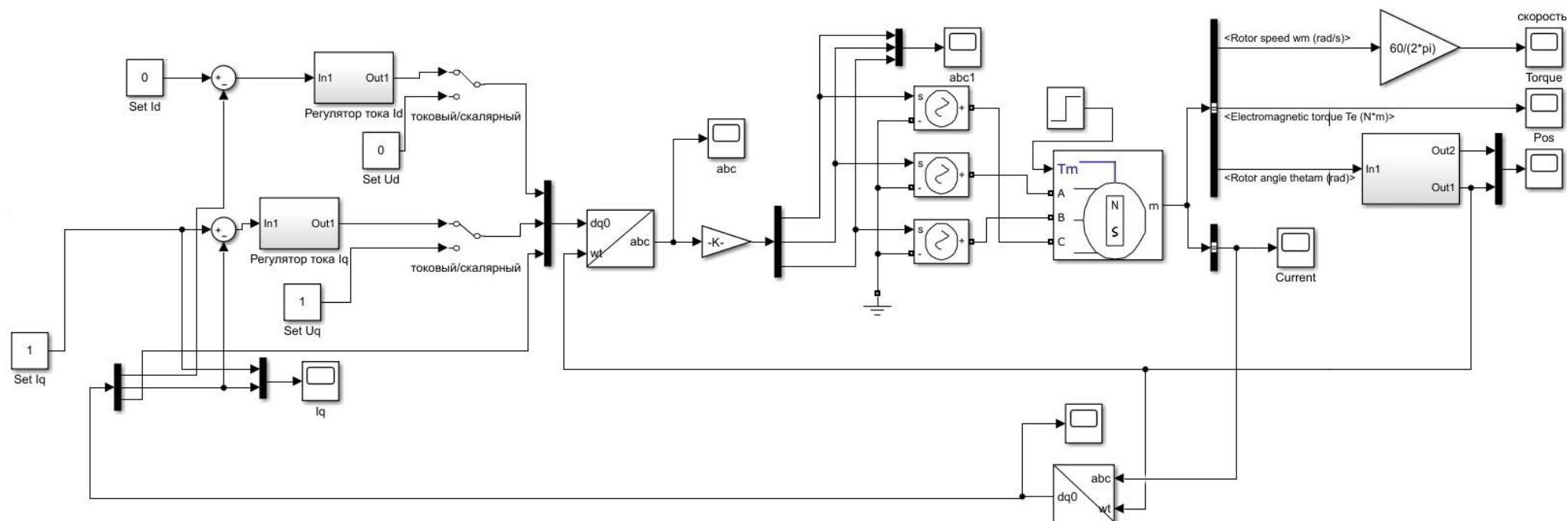


Рисунок 23– Имитационная модель электропривода рулевой рейки автомобиля в среде Matlab Simulink

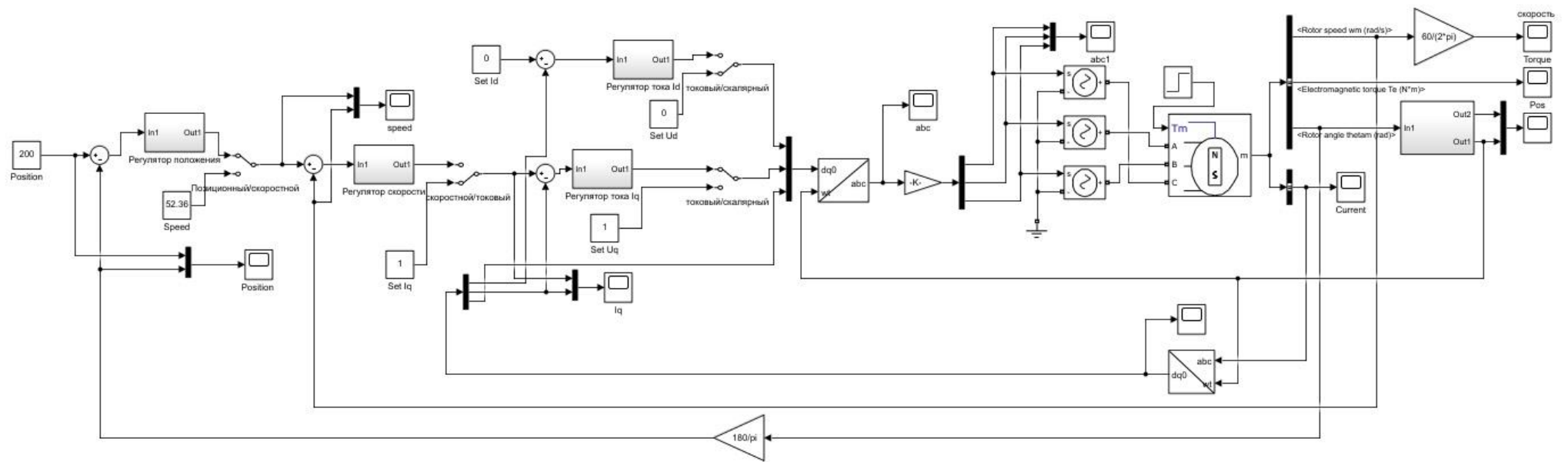


Рисунок 24 - Имитационная модель электропривода рулевой рейки автомобиля в среде Matlab Simulink с возможностью применения в беспилотных транспортных средствах

Как было изложено в разделе 1 сервоконтроллер посредством имеющегося в его силовой части инвертора подает питание на СДПМ. В имитационной модели, собранной в Matlab, для упрощения математических расчетов и трудозатрат работ инвертор был заменен на управляемые источники питания. Это позволило упростить задачу, связанную с подбором транзисторных ключей и обратных диодов, а также избавиться от мертвого времени.

Как было упомянуто выше, в модели используются преобразователи координат, основанные на математических преобразованиях координат Парка - Горева, позволяющие переходить от неподвижной системы координат к вращающейся и обратно. Их использование связано с тем, что быстродействие регулятора тока ограничено, и в определенный момент времени, при изменении задания на ток (а задание во вращающейся системе всегда меняется, поскольку оно имеет синусоидальную форму) регулятор его будет не успевать отрабатывать, что приведет к некорректной работе СДПМ на векторном управлении. Для избегания подобных негативных последствий регулятор тока используют в статическом режиме работы, добавляя в модель вышеописанные преобразователи координат.

Помимо вышесказанного, для корректной работы модели СДПМ необходимо знать положение ротора в пространстве в данный момент времени. На рисунке 25 проиллюстрирован график датчика угла поворота ротора. Как видно, механически, после прохождения полного оборота, ротор обнуляется и начинает свой отчет заново с начальной позиции. На один механический оборот приходится 8 электрических, что свидетельствует о том, что двигатель имеет 8 пар полюсов и вращается синхронно (ротор ориентирован по полю статора).

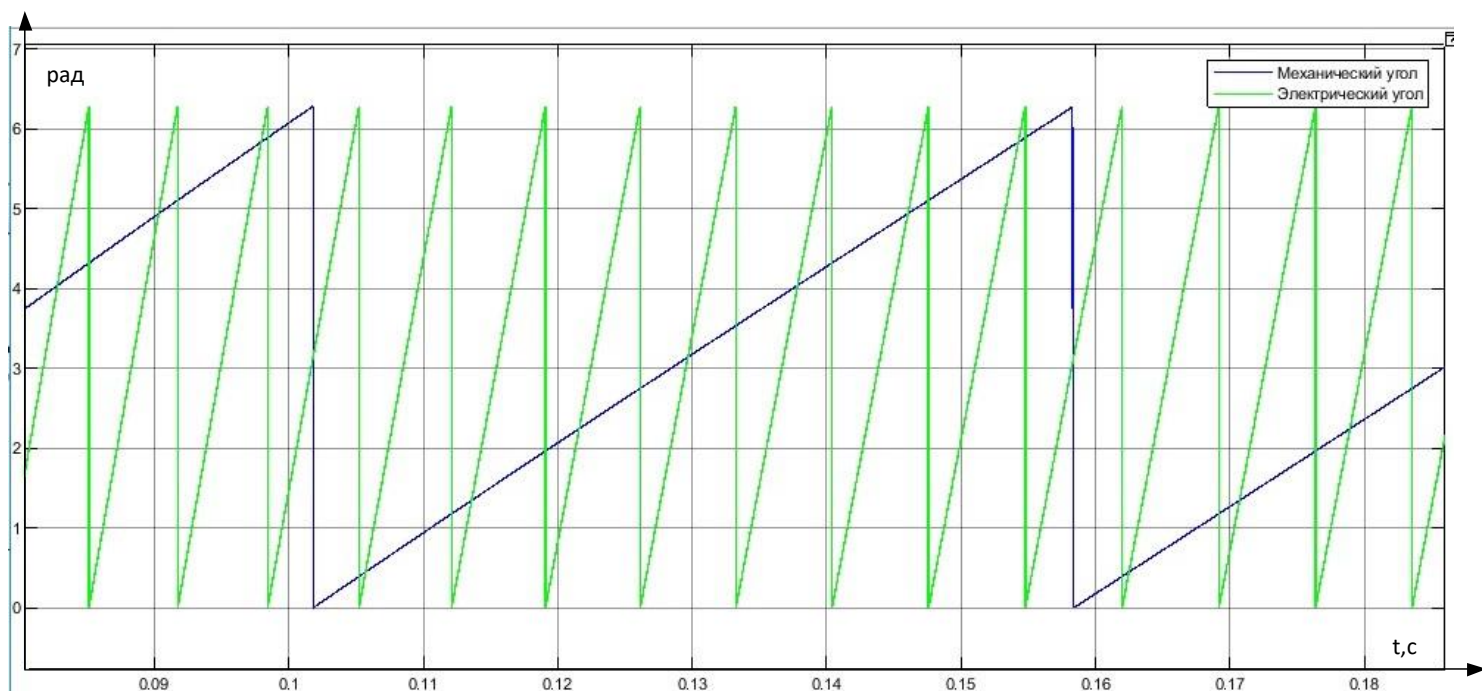


Рисунок 25 – График положения электрического и механического угла

В результате моделирования были получены графики (рисунок 26, 27), описывающие работу электропривода в режиме поворота колес с нагрузкой на двигатель 10 Н м, что соответствует номинальным значениям.

Исходя из полученных значений следует сделать вывод, что построенная модель, в программной среде Matlab, адекватна. О правильности математических расчетов можно судить по построенным графикам переходных процессов. Графики показывают, что выполненное моделирование обеспечивает требуемые параметры переходного процесса.

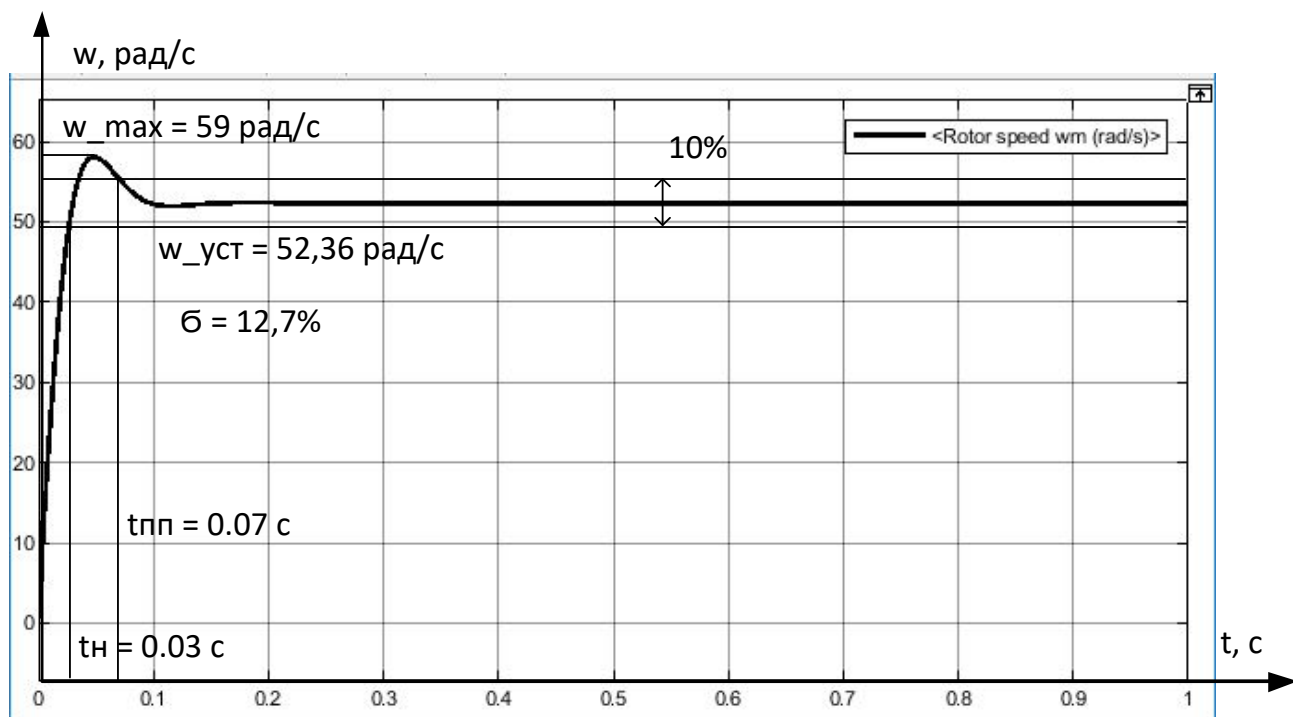


Рисунок 26 – График частоты вращения при номинальном задании

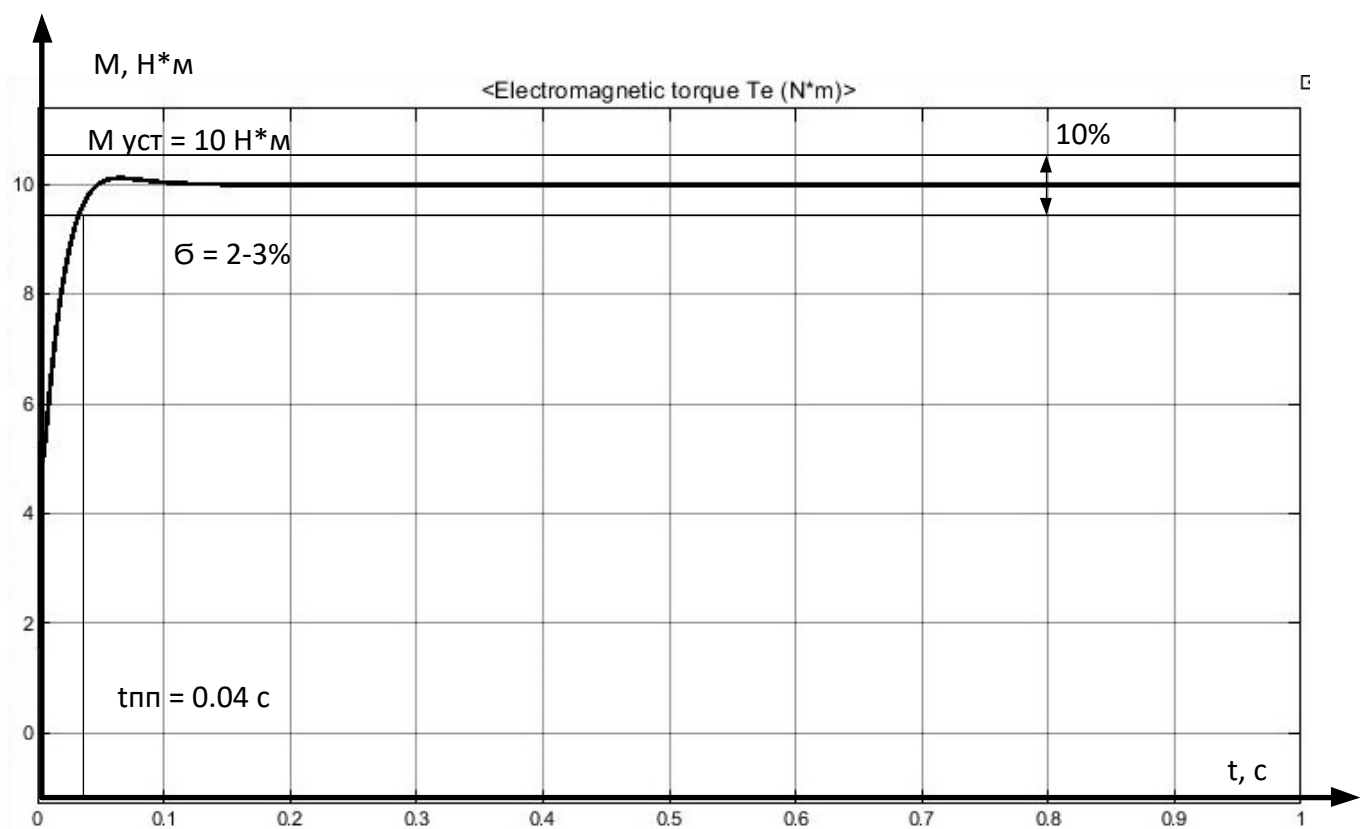


Рисунок 27 – График момента при номинальном задании

Результаты данной исследовательской работы будут применены в дальнейшем при конструировании беспилотных транспортных средств, на базе «НПФ Мехатроника-Про» г. Томск, поскольку данная организация уже имеет хорошую базу для ведения подобной деятельности. Как продемонстрировано на рисунках 28, 29 предприятие завершило этап разработки и сборки собственного стенда электроусилителя рулевой рейки автомобиля для дальнейших собственных проектов, которые будут интегрированы в отечественный, а в будущем и мировой, рынок автомобилестроения.



Рисунок 28 – Общий вид стенда электропривода рулевой рейки автомобиля, разработанного на базе «НПФ Мехатроника-Про»

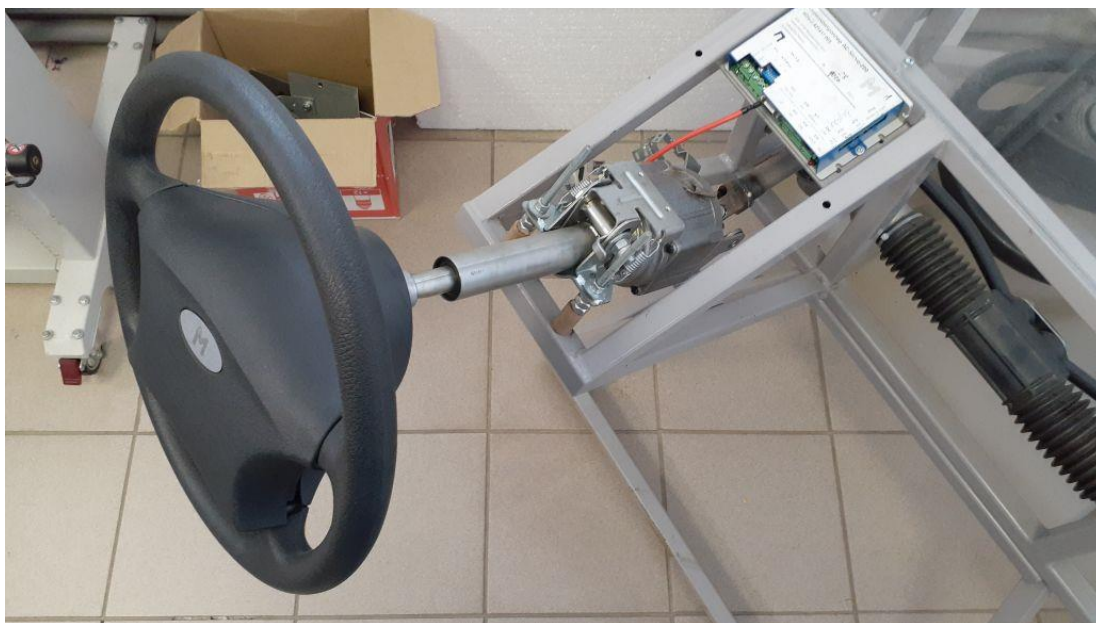


Рисунок 29 – Детальное изображение стенда электропривода рулевой рейки транспортного средства, разработанного на базе «НПФ Мехатроника-Про»

5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ

РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Данный раздел работы посвящен определению экономических показателей проектирования электропривода рулевой рейки транспортного средства с точки зрения ресурсоэффективности. Достижение цели обеспечивается выполнением следующих задач:

- определение конкурентоспособности электрооборудования;
- планирование работ в рамках данного научного исследования;
- формирование бюджета на проектирование.

5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование [8].

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга).

В данном случае сегментирование целесообразно провести по критерию точности, т.к. для разных режимов работы, требуется разная величина точности регулирования по обратной связи для электродвигателя.

А также следует выделить сегменты рынка:

- по разработке, проектированию и производству;
- по установке и пуско-наладке;
- по дальнейшему обслуживанию и ремонту.

Исходя из сегмента рынка, будет произведено сегментирование коммерческих организаций по отраслям. Сегментирование приведено в таблице 4.

Таблица 4 - Сегментирование коммерческих организаций

	Электропривода постоянного тока с датчиками углового смещения	Асинхронные электропривода с датчиками углового смещения	Синхронные электропривода с датчиками углового смещения
Проектирование и производство			
Установка и пуско-наладка			
Обслуживание и ремонт			
Фирма А		Фирма Б	

Результаты сегментирования:

- основными сегментами рынка являются все виды деятельности для электроприводов постоянного тока и асинхронных электроприводов с датчиками углового смещения;
- наиболее сильно предприятие должно быть ориентировано на сегменты рынка, связанные с проектированием и производством, установкой и пуско-наладкой синхронных электроприводов с датчиками;
- наиболее привлекательными сегментами рынка являются отрасли, связанные с проектированием и производством, установкой и пуско-наладкой синхронных электроприводов с датчиками.

5.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Данный анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, для успешного противостояния своим соперникам.

Применение синхронных электроприводов позволяет модернизировать рулевое управление, повысить надежность, срок службы оборудования, снизить энергопотребление. Более массовое внедрение синхронных электроприводов позволит в случае необходимости провести оперативную замену.

Стоимость мощных электродвигателей постоянного тока соизмерима, а иногда и превышает стоимость синхронного трехфазного электродвигателя с

частотным преобразователем и комплектом дополнительного оборудования.

При этом синхронные электродвигатели более надежны, чем электродвигатели постоянного тока за счет отсутствия щеточного аппарата.

Также, данные двигатели имеют повышенный коэффициент полезного действия, при этом имея широкие возможности по управлению за счет использования векторного управления.

Оценочная карта представлена в таблице 5. В ней рассматриваются ЭП постоянного тока и синхронный ЭП.

Таблица 5 – Оценочная карта конкурентоспособности

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		ЭП постоянного тока	Синхронный ЭП	ЭП постоянного тока	Синхронный ЭП
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1.КПД	0,12	4	5	0,48	0,6
2. Диапазон регулирования скорости	0,2	5	5	1	1
3. Надежность	0,1	4	5	0,4	0,5
4. Завышение мощности	0,15	4	5	0,6	0,75
5. Простота управления	0,13	4	3	0,52	0,39
6. Габариты	0,12	4	5	0,48	0,6
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Цена	0,08	3	4	0,24	0,32
2. Конкурентоспособность продукта	0,05	3	4	0,15	0,2

Окончание таблицы 5 - Оценочная карта конкурентоспособности

3. Уровень проникновения на рынок	0,05	5	4	0,25	0,2
Итого	1	36	40	4,02	4,22

В ходе анализа технических конкурентных решений было выявлено превосходство синхронного электропривода над его конкурентом – электроприводом постоянного тока. Основными преимуществами исследуемого электропривода являются: малые габариты, низкая цена и высокий КПД.

5.1.3 Технология QUAD

Технология QuaD (QUality ADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект.

В основе технологии QuaD лежит нахождение средневзвешенной величины следующих групп показателей:

Показатели оценки коммерческого потенциала разработки:

- влияние нового продукта на результаты деятельности компании;
- перспективность рынка;
- пригодность для продажи;
- перспективы конструирования и производства;
- финансовая эффективность.
- правовая защищенность и др.

Показатели оценки качества разработки:

- динамический диапазон;
- вес;
- ремонтпригодность;
- энергоэффективность;
- долговечность;
- эргономичность;
- унифицированность;
- уровень материалоемкости разработки и др.

Показатели оценки качества и перспективности новой разработки подбираются исходя из выбранного объекта исследования с учетом его технических и экономических особенностей разработки, создания и коммерциализации.

Для упрощения процедуры проведения QuaD оценка проводится в табличной форме (таблица 6).

В соответствии с технологией QuaD каждый показатель оценивается экспертным путем по стобальной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Таблица 6 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение	Средневзвешенное значение
1	2	3	4	5	6
Показатели оценки качества разработки					
1. Повышение производительности труда пользователя	0,05	85	100	0,85	4,25
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям)	0,09	90	100	0,9	8,1
3. Помехоустойчивость	0,04	85	100	0,85	3,4
4. Энергоэкономичность	0,09	70	100	0,7	6,3
5. Надежность	0,15	90	100	0,9	13,5
6. Уровень шума	0,08	85	100	0,85	6,8
7. Безопасность	0,1	100	100	1	10
8. Потребность в ресурсах памяти	0,01	60	100	0,6	0,6
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,05	70	100	0,7	3,5
10. Простота эксплуатации	0,05	80	100	0,8	4
11. Качество интеллектуального интерфейса	0,02	50	100	0,5	1
12. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,04	60	100	0,6	2,4
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
1. Конкурентоспособность продукта	0,03	80	100	0,8	2,4
2. Уровень проникновения на рынок	0,03	70	100	0,7	2,1
3. Цена	0,04	70	100	0,47	2,8
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,04	90	100	0,9	3,6
5. Послепродажное обслуживание	0,03	70	100	0,7	2,1
6. Финансирование научной разработки	0,02	40	100	0,4	0,8
7. Срок выхода на рынок	0,02	60	100	0,6	1,2

Окончание таблицы 6 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

8. Наличие сертификации разработки	0,02	60	100	0,6	1,2
Итого	1				80,05

5.1.4 SWOT-анализ

SWOT-анализ является инструментом стратегического менеджмента, позволяет оценить такие параметры как: сильные и слабые стороны проекта, а также его возможности и угрозы. Для проведения SWOT-анализа необходимо построить матрицу, в которую записываются приведенные ранее параметры.

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения:

- С – сильные стороны проекта;
- Сл – слабые стороны проекта;
- В – возможности;
- У – угрозы.

Полученные результаты представлены в таблице 7.

Таблица 7 - Матрица SWOT

	Сильные стороны проекта:	Слабые стороны проекта:
	С1. Высокая надежность продукции; С2. Квалифицированный персонал; С3. Качественные материалы; С4. Качество обработки.	Сл1. Продукция не испытана в работе; Сл2. Организация систем продаж; Сл3. Аварийные ситуации ответственность; Сл4. Дорогое оборудование.
Возможности:		
В1. Новый вид продукции;	В1: С1,С2,С3,С4.	В1: Сл1, Сл2.

Окончание таблицы 7 - Матрица SWOT

В2. Уменьшение себестоимости путем внедрения новых технологий;	В2: С1, С4.	
В3. Рост рынка;	В3: С1.	В3: Сл2, Сл3.
В4. Региональные продажи	В4: С1.	В4: Сл2, Сл3.
В5. Снижение таможенных пошлин на сырье и материалы	В5: С3.	
Угрозы:		
У1. Конкурентная активность;	У1: С1.	У1: Сл2.
У2. Экономическая угроза;	У2: С3	У2: Сл2, Сл4.
У3. Внешние угрозы (контроль, налоги).	У3: С3.	
У4. Отсутствие спроса на новые технологии	У4: С3.	У4: Сл2.
У5. Сбой в работе с поставщиками		У5: Сл4.

На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей (таблица 8) и угроз (таблица 9), позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации.

При построении интерактивных матриц используются обозначения аналогичные самой матрицы SWOT с дополнением знаков (+ / -) для подробного представления наличия возможностей и угроз проекта («+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие).

Таблица 8 - Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта			
	C1	C2	C3	C4
B1	+	+	+	+
B2	+	-	-	+
B3	+	-	-	-
B4	+	-	-	-
B5	-	-	+	-
	Слабые стороны проекта			
	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
B1	+	+	-	-
B2	-	-	-	-
B3	-	+	+	-
B4	-	+	+	-
B5	+	-	-	-

Таблица 9 - Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта			
	C1	C2	C3	C4
У1	+	-	-	-
У2	-	-	+	-
У3	-	-	+	-
У4	-	-	+	-
У5	-	-	-	-
	Слабые стороны проекта			
	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
У1	-	+	-	-
У2	-	+	-	+
У3	-	-	-	-
У4	-	+	-	-
У5	-	-	-	+

Анализ интерактивных матриц, приведенных в таблицах 8 и 9, показывает, что самая сильная сторона проекта - это надежность продукции, она является основой для пребывания на рынках продаж. Высокое качество выпускаемой продукции позволяет предприятию быть конкурентно способным. Имеются угрозы ввиду новой неиспытанной в работе продукции, а также угрозы со стороны конкурентов, что может негативно сказаться на реализации проекта.

5.1.5 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

В предыдущем разделе были описаны методы, которые позволяют выявить и предложить возможные альтернативы проведения исследования и доработки результатов. К их числу относятся технология QuaD, оценка конкурентных инженерных решений, SWOT-анализ. К ним можно добавить ФСА-анализ, метод Кано. Однако, в большей степени все приведенные методы ориентированы на совершенствование результатов научного исследования, находящегося на стадии создания макета, модели системы, прототипа, конечного продукта. Если разработка находится на перечисленных стадиях жизненного цикла нового продукта, можно предложить не менее трех основных вариантов совершенствования разработки или основных направлений научного исследования.

Разработка относится к вышеописанным стадиям, поэтому нет необходимости использовать морфологический подход.

5.2 Планирование научно-исследовательских работ

5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения проектных работ формируется группа, которая включает в себя руководителя проекта и инженера. Для каждого типа запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей. Порядок этапов и работ, распределение исполнителей по этим видам работ приведено в таблице 10.

Таблица 10 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Выбор направления исследований	Руководитель Инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
Теоретическое исследование	5	Анализ технического задания	Инженер
	6	Расчет и выбор силового оборудования	Инженер
	7	Расчет статических характеристик	Инженер
	8	Разработка функциональной схемы системы регулируемого электропривода	Инженер
Обобщение и оценка результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	10	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер

5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Важным моментом является определение трудоемкости каждого из участников проекта. Сложность работы оценивается экспертно в человеко-днях и носит вероятностный характер. Для определения ожидаемой (средней) величины трудоемкости используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3 \cdot t_{\min i} + 2 \cdot t_{\max i}}{5};$$

где

- $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;
- $t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;
- $t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Рассчитанная продолжительность работ в рабочих днях приведена в таблице 6.8.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i};$$

где:

- T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;
- $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.
- $Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

В таблице 6.8. приведены ожидаемая трудоемкость и время выполнения работы.

5.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и очевидным является построение графика проектирования работ в виде диаграммы Ганта. Диаграмма Ганта – это горизонтальный график, в котором работа над темой представлена длительными промежутками времени, характеризующимися датами начала и завершения работы. Для удобства составления графика продолжительность каждого из этапов работы с рабочих дней должна быть переведена на календарные дни. Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} ;$$

где:

- $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;
- $T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;
- $T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

$$\frac{365}{365 - 118} = 1,478 ;$$

$$t_{\text{ожл}} = \frac{3 \cdot t_{\text{minl}} + 2 \cdot t_{\text{maxl}}}{5} ;$$


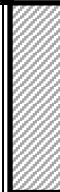





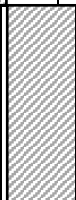


$$\frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 4}{5} = 2,8 - \text{дня}.$$

Временные показатели проведения научного проектирования и календарный план график проведения проектирования приведены в таблицах 11, 12.

Таблица 11 - Временные показатели проведения проектирования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожс}$, чел-дни		Руководите ль	Инженер	Руководите ль	Инженер
	Руководите ль	Инженер	Руководите ль	Инженер	Руководите ль	Инженер				
Составление и утверждение технического задания	1	0	2	0	1,4	0	1,4	0	2	0
Подбор и изучение материалов по теме	0	4	0	7	0	5,2	0	5,2	0	8
Выбор направления исследований	1	1	2	2	1,4	1,4	0,7	0,7	1	1
Календарное планирование работ по теме	1	0	2	0	1,4	0	1,4	0	2	0
Анализ ТЗ	0	2	0	7	0	4	0	4	0	6
Расчет и выбор силового оборудования	0	3	0	6	0	4,2	0	4,2	0	6
Расчет статических характеристик	0	3	0	8	0	5	0	5	0	7
Разработка функциональной схемы системы регулируемого электропривода	0	3	0	10	0	5,8	0	5,8	0	9
Оценка эффективности полученных результатов	1	0	3	0	1,8	0	1,8	0	3	0
Составление эксплуатационно – технической документации	0	5	0	10	0	7	0	7	0	10

Таблица 12 – Календарный план-график проведения проектирования

№ раб.	Вид работ	Исполни- тели	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ											
				февраль		март			апрель			май			
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Составление и утверждение ТЗ	Р	2												
2	Подбор и изучение материалов по теме	И	8												
3	Выбор направления исследований	Р, И	1												
4	Календарное планирование работ	Р	2												
5	Анализ ТЗ	И	6												
6	Расчет и выбор силового оборудования	И	6												
7	Расчет статических характеристик	И	7												
8	Разработка функциональной схемы системы регулируемого электропривода	И	9												
9	Оценка эффективности полученных результатов	Р	3												
10	Составление эксплуатационно – технической документации	И	10												



- инженер,



- руководитель.

5.3 Бюджет затрат на проектирование

5.3.1 Расчет материальных затрат проектирования

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, приведены в таблице 13.

Таблица 13 - Материальные затраты

Наименование	Количество	Цена за ед. руб.	Затраты на материалы, (Z_m), руб.
Комплект канцелярских принадлежностей	1	300	300
Бумага для принтера	1	300	300
Краска для принтера	1	600	600
Итого			1200

Из таблицы видно, что материальные затраты для проектирования составляют 1200 рублей.

5.3.2 Затраты на заработную плату исполнителей

Основная заработная плата научных и инженерных работников, непосредственно вовлеченных в выполнение работ по этому предмету проектирования, определяется на основе трудоемкости выполняемой работы и существующей системы окладов и тарифных ставок. Статья включает в себя основную заработную плату сотрудников, непосредственно занимающихся проектированием и дополнительной заработной платой:

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p$$

Руководитель

$$Z_m = 19500 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 38025 \text{ руб.}$$

Инженер

$$Z_m = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.}$$

где Z_{mc} – заработная плата по тарифной ставке, руб.; $k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3; k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет 0,2; k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для города Томска);

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{он}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}$$

Руководитель

$$Z_{\text{он}} = \frac{38025 \cdot 11,2}{223} = 1909,76 \text{ руб.},$$

Инженер

$$Z_{\text{он}} = \frac{33150 \cdot 11,2}{223} = 1664,93 \text{ руб.},$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.:

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Баланс рабочего времени описан в таблице 14.

Таблица 14 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней: выходные дни и праздничные дни	118	118
Потери рабочего времени: отпуск и невыходы по болезни	24	24
Действительный годовой фонд рабочего времени	223	223

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) от предприятия рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{он}} \cdot T_p$$

Руководитель

$$Z_{осн} = 1909,76 \cdot 5 = 9548,8 \text{ руб}$$

Инженер

$$Z_{осн} = 1664,93 \cdot 32 = 53277,76 \text{ руб}$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Расчет основной заработной платы прилагается в таблице 15.

Таблица 15 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{мс}$, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	19500	0,3	0,2	1,3	38025	1909,76	5	9548,8
Инженер	17 000	0,3	0,2	1,3	33150	1664,93	32	53277,76
Итого:								62826,56

5.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Трудовым кодексом РФ предусмотрены доплаты за отклонение от нормальных условий труда, а также выплаты, связанные с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении общественных и государственных обязанностей, при совмещении работы с обучением и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}$$

Руководитель

$$Z_{доп} = 0,15 \cdot 9548,8 = 1432,32 \text{ руб.};$$

Инженер

$$Z_{доп} = 0,15 \cdot 53277,76 = 7991,66 \text{ руб.};$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы 0,15

5.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп});$$

где:

$k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды

(пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

$$Z_{внеб}(\text{рук.пр}) = 0,28 \cdot (9548,8 + 1432,32) = 3074,71 \text{ руб.};$$

$$Z_{внеб}(\text{инж}) = 0,28 \cdot (53277,76 + 7991,66) = 17155,44 \text{ руб.}$$

В таблице 16 прилагаются отчисления во внебюджетные фонды.

Таблица 16 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель темы	9548,8	1432,32
Инженер-студент	53277,76	7991,66
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,28	
Отчисления во внебюджетные фонды		
Руководитель темы	3074,71	
Инженер-дипломник	17155,44	
Итого	20230,15	

5.3.5 Амортизация

Расчет амортизационных отчислений для полного восстановления основных фондов производится по нормам амортизации, утвержденным в порядке, установленном действующим законодательством, и определяется в зависимости от стоимости оборудования. Для проектирования требуется следующее оборудование: компьютер – 51 800 рублей.

$$I_{ам} = \frac{T_{ис}}{T_{г}} \cdot \frac{1}{T_{сл}} \cdot C_{обор} = \frac{54}{365} \cdot \frac{1}{8} \cdot 51000 = 943,15 \text{ руб.}$$

где $T_{ис}$ - время использования оборудования = 223 дней;

$T_{г}$ - количество использования в год = 365 дней;

$C_{обор}$ - стоимость оборудования;

$T_{сл}$ - срок службы оборудования = 3 года.

5.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают другие расходы организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печатные и фотокопировальные исследовательские материалы, оплату услуг связи, электричество, почтовые и телеграфные расходы, воспроизведение материалов и т. д. Их стоимость определяется следующей формуле:

$$З_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{нр};$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

$$\begin{aligned} З_{накл} &= (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{нр} = (З_{мат} + З_{арм} + З_{осн} + З_{доп} + З_{внеб}) \cdot 0,16 \\ З_{накл} &= (1200 + 2761,64 + 62826,56 + 9423,98 + 20230,14) \cdot 0,16 = \\ &= 96442,33 \cdot 0,16 = 15430,77 \text{ руб.,} \end{aligned}$$

5.3.8 Формирование бюджета затрат на проектирование

Рассчитанная величина затрат проектирования работы является основой для формирования бюджета затрат проекта. Определение бюджета затрат на проектирование по каждому варианту исполнения приведен в таблице 17.

Таблица 17 - Бюджет затрат на проектирование

Наименование статьи	Сумма, руб.	%
Материальные затраты	1 200	1,06
Затраты на амортизацию	2 761,64	2,44
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	62 826,56	55,69
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	9 423,98	8,35
Отчисления во внебюджетные фонды	20 230,15	17,94
Амортизация	943,15	0,84
Накладные расходы	15 430,77	13,68
Бюджет затрат проекта	112816,25	100

5.4 Вывод по разделу

В данном разделе была проведена оценка конкурентоспособности синхронного электропривода рулевой рейки, в результате которой было выявлено превосходство синхронного электропривода над его конкурентом – электроприводом постоянного тока.

Было произведено планирование научно-исследовательских работ. Всего для выполнения выпускной работы понадобится 54 календарных дней. Для реализации данного проекта были задействованы 2 исполнителя (руководитель и инженер). Причём занятость инженера (47 календарных дней) гораздо выше, чем занятость руководителя (8 календарных дней). Так как инженер является основным исполнителем.

Так же был составлен бюджет научно-технического исследования – 112816,25 рублей. Где основные затраты – это основная заработная плата исполнителей (55,69%).

Таким образом, данный проект является актуальным на рынке современного автомобилестроения, так как данная разработка имеет высокую эффективность и функциональную мощность. Основными преимуществами исследуемого электропривода являются: высокий КПД, повышенные возможности управления, низкая стоимость, малые габариты.

6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

6.1 Введение

В выпускной квалификационной работе разрабатывается синхронный электропривод рулевого управления колесного транспортного средства, осуществляется подбор и расчет оборудования, который составляет данный электропривод.

В данном разделе ВКР рассматриваются вопросы безопасности жизнедеятельности и экологические возможные негативные последствия, связанные с разработкой привода рулевой рейки транспортного средства. Разработка и испытания данного привода происходит в испытательной лаборатории.

Целью разработки данного раздела является принятие проектных решений, которые исключат несчастные случаи и профессиональные заболевания в производстве, обеспечат снижение вредных воздействий на окружающую среду и экономное расходование ресурсов, а также повысят безопасность в чрезвычайных ситуациях.

6.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Рабочий персонал имеет следующие права:

- На работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на работах, выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением, работникам бесплатно выдаются прошедшие обязательную сертификацию или декларирование соответствия специальная одежда, специальная обувь и другие средства индивидуальной защиты, а также смывающие и (или) обезвреживающие средства в соответствии с типовыми нормами, которые устанавливаются в порядке, определяемом Правительством Российской Федерации (в ред. Федерального закона от 30.06.2006 N 90-ФЗ) [9];

- Работники имеют право на сокращение продолжительности рабочего времени. Сокращается продолжительность рабочего времени для работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, – не более 36 часов в неделю в порядке, установленном Правительством Российской Федерации с учетом мнения Российской трехсторонней комиссии по регулированию социально-трудовых отношений (часть первая в ред. Федерального закона от 30.06.2006 N 90-ФЗ ст. 92 п. 5) [10];

- Право на обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, которое осуществляется в Российской Федерации с января 2000 года в соответствии с Федеральным законом от 24.07.1998 г. № 125-ФЗ «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний». Если происходят несчастные случаи (травмы, смерть), то семье или самому работнику выплачивается компенсация в размере, зависящем от тяжести последствий [11];

- Также предоставляются права на проведение в установленном порядке за счет средств организации обязательных предварительных (при поступлении на работу) и периодических в течение трудовой деятельности в данной организации медицинских осмотров (обследований), а также внеочередных медицинских осмотров работников в соответствии с медицинскими рекомендациями согласно законодательству Российской Федерации [12].

Рабочее место в лаборатории полностью соответствует эргономическим требованиям, если [18]:

- произведены необходимые отключения и приняты меры, препятствующие подаче напряжения на место работы вследствие ошибочного или самопроизвольного включения коммутационных аппаратов;
- на приводах ручного и на ключах дистанционного управления коммутационных аппаратов должны быть вывешены запрещающие плакаты;

- проверено отсутствие напряжения на токоведущих частях, которые должны быть заземлены для защиты людей от поражения электрическим током;
- наложено заземление (включены заземляющие ножи, а там, где они отсутствуют, установлены переносные заземления);
- вывешены указательные плакаты «Заземлено», ограждены при необходимости рабочие места и оставшиеся под напряжением токоведущие части, вывешены предупреждающие и предписывающие плакаты.

6.3 Производственная безопасность

6.3.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов

Согласно ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» основные вредные и опасные факторы в испытательной лаборатории представлены в таблице 18 [14].

Таблица 18 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ		Нормативные документы
	Разрабо тка	Эксплуа тация	
1.Превышение уровня шума	+	+	СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с Изменением N 1) [7]. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [8]. СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение» (с Изменением N 1) [9]. Правила устройства электроустановок – 7-е изд. М.: Энергоатомиздат, 2011 [10]. ГОСТ 12.2.003-91 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности» [11]. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [15].
2.Механические повреждения	+	+	
3.Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	
4.Отклонение показателей микроклимата	+	+	
5.Поражение электрическим током	+	+	

6.3.2 Превышение уровня шума

Источником шума в работе является электродвигатель. Шум оказывает негативное воздействие на организм человека. Он неблагоприятно отражается на нервной системе, вызывая головные боли, замедление психических реакций, бессонницу, ослабление внимания, и в конечном счете приводит к значительному снижению работоспособности.

Предельно допустимые уровни шума представлены в таблице 19 [15].

Таблица 19 - Предельно допустимые уровни шума

Рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц									Максимальный уровень звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Рабочие помещения административно-управленческого персонала производственных предприятий, лабораторий	93	79	70	63	58	55	52	50	49	75
Помещения лабораторий для проведения экспериментальных работ	103	91	83	77	73	70	68	66	64	90

Для защиты от шума при изготовлении и эксплуатации предусматриваются:

- обеспечение персонала индивидуальными средствами защиты;

- установка звукоизолирующих кожухов и экранов;
- использование виброизолирующих материалов под оборудование (пружины, резины и т.д.).

Средства индивидуальной защиты (СИЗ) применяются в том случае, если другими способами обеспечить допустимый уровень шума на рабочем месте не удастся. Для лаборатории актуальными будут беруши и наушники.

6.3.3 Механические повреждения

При ведении работ в испытательной лаборатории и несоблюдении требований безопасности труда могут возникнуть ситуации, приводящие к различным механическим травмам таким как ушибы, переломы, вывихи и ранения.

Зачастую ушибы происходят при неосторожном обращении с инструментом и при его падении с высоты. Исключать получение ушибов тела при движении по неровной или скользкой поверхности не приходится.

Переломы пальцев рук и ног имеют место при падении тяжелых предметов с высоты, авариях на транспорте, и при падениях сотрудников с высоты.

Получение ранения возможно при неправильном использовании режущих инструментов во время зачистки изоляции проводов и кабелей.

Согласно ГОСТ 12.2.003-91 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности» для минимизации травм персонала безопасность конструкции производственного оборудования должна обеспечиваться [19]:

- выполнением эргономических требований;
- применением встроенных в конструкцию средств защиты работающих, а также средств информации, предупреждающих о возникновении опасных (в том числе пожаровзрывоопасных) ситуаций;
- ограничением физических и нервнопсихических нагрузок на работающих.

6.3.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Согласно научным исследованиям, отсутствие или недостаток естественного освещения на рабочем месте может вызвать ухудшение самочувствия, привести к потере сна и ослаблению здоровья. Поэтому следует уделять большое внимание достаточному дневному освещению для укрепления здоровья и морального состояния работников.

Рациональное освещение производственных рабочих мест испытательной лаборатории имеет весомое значение для выполнения персоналом своих функциональных обязанностей в условиях, когда на большом количестве рабочих мест отсутствует естественное освещение. В испытательной лаборатории для освещения применяются, как правило, прожекторы с металлогалогенными лампами и с натриевыми лампами.

Характеристика зрительной работы на рассматриваемом объекте относится к работе высокой точности. Согласно СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение» (с Изменением N 1) взаимосвязь нормируемых параметров естественного и искусственного освещения с характеристиками зрительных работ представлены в таблице 20 [17].

Таблица 20 – Взаимосвязь нормируемых параметров естественного и искусственного освещения

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Относительная продолжительность зрительной работы, %	Освещенность на рабочей поверхности от системы общего искусственного освещения, лк	Средний КЕО при верхнем или верхнем и боковом освещении, %	Минимальный КЕО при боковом освещении, %
1	2	3	4	5	6	7	8
Различение объектов при фиксированной линии зрения							
Высокой точности	0,3-0,5	Б	1	≥70	100	3,0	1,0
			2	<70	75	2,5	0,7

6.3.5 Отклонение показателей микроклимата

Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах зависят от категории тяжести работ. Допустимые нормы в рабочей зоне производственных помещений представлены в таблице 21 [23].

Таблица 21 - Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

Оптимальные значения					
Сезон года	Категория работ	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	Температура поверхностей, °С
Холодный	Іб	21 - 23	40 – 60	0,1	20 - 24
Тёплый	Іб	22 - 24	40 – 60	0,1	21 - 25
Допустимые нормы					
Сезон года	Категория работ	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	
		Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин		
Холодный	Іб	19,0 – 20,9	23,1 – 24,0	18,0 – 25,0	
Тёплый	Іб	20,0 – 21,9	24,1 – 28	19,0 – 29,0	

6.3.6 Поражение электрическим током

В испытательной лаборатории присутствует опасность поражения электрическим током. Электрический ток, проходя через живой организм, производит [18]:

- термическое действие (ожоги отдельных участков тела, нагрев кровеносных сосудов и нервных волокон);
- биохимическое действие (нарушение физико-химического состава крови и других органических жидкостей, их разложение);
- биологическое действие (раздражение и возбуждение живых тканей организма, непроизвольное сокращение мышц, сердца, легких).

По поражению электрическим током испытательная лаборатория, относительно категории помещений, относится к особо опасному помещению.

Условиями, создающими повышенную опасность, являются:

- а) сырость;
- б) органическая или химически активная среда;
- в) токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные);
- г) высокая температура (выше 35 °С).

По правилам охраны труда существуют допустимые расстояния до токоведущих частей под напряжением, приближение к которым на расстояние менее указанных не допускается. Данные допустимые расстояния представлены в таблице 22 [24].

Таблица 22 - Допустимые расстояния до токоведущих частей, находящихся под напряжением

Напряжение, кВ	Расстояние от людей и применяемых ими инструментов и приспособлений, от временных ограждений, м	Расстояние от механизмов и грузоподъемных машин в рабочем и транспортном положении, от стропов, грузозахватных приспособлений и грузов, м
до 1	Не нормируется (без прикосновения)	1
1 - 35	0,6	1,0
60 - 110	1,0	1,5
150	1,5	2,0
220	2,0	2,5
330	2,5	3,5
400 - 500	3,5	4,5
750	5,0	6,0
1150	8,0	10,0

К электрозащитным средствам относятся:

- указатели напряжения;
- диэлектрические ковры и изолирующие подставки;
- защитные ограждения (щиты и ширмы);
- плакаты и знаки безопасности;
- лестницы приставные и стремянки изолирующие стеклопластиковые.

6.4 Экологическая безопасность

Работа в испытательной лаборатории сопряжена с образованием и выделением жидких и твердых отходов. Жидкие отходы - бытовые отходы, образующиеся в процессах влажной уборки помещений, при пользовании водопроводом, туалетом и т.п., сбрасываются в городскую канализацию и далее поступают в системы централизованной очистки на городских очистных сооружениях [20]. При обращении с твердыми отходами: бытовой мусор (отходы бумаги, отработанные специальные ткани для протирки офисного оборудования и экранов мониторов, пищевые отходы); отработанные люминесцентные лампы; офисная техника, комплектующие и запчасти, утратившие в результате износа потребительские свойства –надлежит руководствоваться Постановлением Администрации г. Томска от 11.11.2009 г. No1110 (с изменениями от 24.12.2014) [22]: бытовой мусор после предварительной сортировки складировать в специальные контейнеры для бытового мусора (затем специализированные службы вывозят мусор на городскую свалку); утратившее потребительские свойства офисное оборудование передают специальным службам (предприятиям) для сортировки, вторичного использования или складирования на городских мусорных полигонах [21].

Люминесцентные лампы, применяемые для искусственного освещения, являются ртутьсодержащими и относятся к 1 классу опасности. Ртуть люминесцентных ламп способна к активной воздушной и водной миграции. Интоксикация возможна только в случае разгерметизации колбы, поэтому основным требованием экологической безопасности является сохранность целостности отработанных ртутьсодержащих ламп. Отработанные газоразрядные лампы помещают в защитную упаковку, предотвращающую повреждение стеклянной колбы, и передают специализированной организации для обезвреживания и переработки. В случае боя ртутьсодержащих ламп осколки собирают щеткой или скребком в герметичный металлический контейнер с плотно закрывающейся крышкой,

заполненный раствором марганцевокислого калия. Поверхности, загрязненные боем лампы, необходимо обработать раствором марганцевокислого калия и смыть водой. Контейнер и его внутренняя поверхность должны быть изготовлены из неадсорбирующего ртуть материала (винипласта).

6.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

К основным видам возможных ЧС техногенного характера в испытательной лаборатории относятся пожары и взрывы.

Наиболее типичным ЧС являются взрывы. Наиболее часто происходит взрыв электродвигателя из-за внутренних коротких замыканий, и тем самым, горения его масла, также возникают электрические дуги, которые могут привести к возгоранию близлежащих объектов.

Источником инициирования взрыва согласно ГОСТ 12.1.010–76 являются [22]:

- открытое пламя, горящие и раскаленные тела;
- электрические разряды;
- искры от удара и трения;
- ударные волны;
- электромагнитные и другие излучения.

Предотвращение возникновения источника инициирования взрыва должно быть обеспечено:

- предотвращением нагрева оборудования до температуры самовоспламенения взрывоопасной среды;
- применением материалов, не создающих при соударении искр, способных инициировать взрыв взрывоопасной среды; применением средств защиты от атмосферного и статического электричества, блуждающих токов, токов замыкания на землю и т. д.:
- применением быстродействующих средств защитного отключения, возможных электрических источников инициирования взрыва;

- ограничением мощности электромагнитных и других излучений.

6.6 Выводы по разделу

В результате выполнения раздела ВКР «Социальная ответственность» были проанализированы вредные и опасные факторы, воздействующие на инженера, в момент выполнения его работы в испытательной лаборатории электрооборудования. Были предложены основные меры по профилактики и ликвидации воздействий пагубных факторов на организм человека. Отталкиваясь от всего вышесказанного в данном разделе, можно прийти к выводу, что, с точки зрения эффективности трудовой деятельности работника, правильная организация рабочего места играет колоссальную роль. Правильные условия труда способствуют повышению эффективности и производительности работ инженера, в то же время обеспечивая его безопасность.

Заключение

Целью выпускной квалификационной работы являлось исследование электропривода рулевой рейки для транспортного средства, задачей которого служит перевозка пассажиров, с полной массой 2,5 тонны, и разработка его имитационной модели посредством среды Matlab Simulink. Рассмотрены основные виды конструктивных исполнений данных электроприводов.

По результатам анализа технической литературы выделены преимущества и недостатки двигателей для данного привода, и впоследствии, на основании данных умозаключений, произведен обоснованный выбор электродвигателя с расчетом передаточного числа редуктора, а также осуществлен выбор закона управления. На основании математических преобразований выбран закон управления для данного типа привода.

При помощи математических расчетов произведена оптимизация контуров тока, скорости и положения. Корректность их расчетов подтверждается полученными графиками переходных процессов, которые удовлетворяют требованиям, предъявляемым для данного типа электропривода. Конечным результатом работы стало получение имитационной модели синхронного электропривода с векторным законом управления, построенной в программной среде Matlab Simulink. На ее основании проведен анализ переходных процессов, полученных в ходе испытаний электропривода, и сделан вывод о соответствии разработки всем техническим требованиям.

Результаты ВКР будут в дальнейшем применены при конструировании беспилотных транспортных средств, на базе «НПФ Мехатроника-Про» г. Томск и в работах по оптимизации контроллера AC-Servo-200.

Список используемой литературы

1. Электромеханический усилитель рулевого управления. Устройство и диагностика [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://kalinalada.com/html/eur.html> (дата обращения 20.03.2020).
2. Электромеханический безредукторный усилитель руля: принципы работы и применяемые электронные компоненты [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://kb-au.ru/wp-content/uploads/2013/12/KBA_Emur_WE_1103.pdf (дата обращения 22.03.2020).
3. Особенности конструкции, технического обслуживания и диагностирования электромеханического усилителя рулевого управления автомобилей семейства ПРИОРА. Курс лекций [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://docplayer.ru/33371376-1-vvedenie-2-osobennosti-konstrukcii-elektrosiliteley-rulevogo-upravleniya-avtomobiley-semeystva-2170-piora.html> (дата обращения 25.03.2020).
4. Контроллер сервопривода (сервоконтроллер) AC-Servo-XXX. Руководство по эксплуатации. Версия 1.2 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://mechatronica-pro.com/sites/default/files/content/product/2617/ac-servo-xxx.pdf> (дата обращения 08.04.2020).
5. Пузанков А.Г. Автомобили. Устройство и техническое обслуживание. – М.: Академия, 2007. 640 с.
6. Любимов И.И. Рулевое управление автомобиля – Саратов: Изд-во Саратовского государственного технического университета. 28 с.
7. Удут Л.С., Гусев Н.В. Исследование синхронного следящего электропривода на базе сервопривода «MINAS A4» и контроллера движения «PCI - SERVO - 4» - Томск: Изд-во Томского Политехнического университета, 2009 - 44 с.

8. Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.
9. ТК РФ, Статья 221. Обеспечение работников средствами индивидуальной защиты.
10. ТК РФ. Глава 15. Рабочее время. Общие положения.
11. Федеральным законом от 24.07.1998 г. № 125-ФЗ «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний».
12. ТК РФ, Статья 213. Медицинские осмотры некоторых категорий работников.
13. Харлов Н.Н. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: учебное пособие. Томский политехнический университет (ТПУ). — Томск: Изд – во ТПУ, 2008.
14. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
15. СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с Изменением N 1).
16. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».
17. СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение» (с Изменением N 1).
18. Правила устройства электроустановок – 7-е изд. М.: Энергоатомиздат, 2011.
19. ГОСТ 12.2.003-91 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности»
20. ГОСТ 17.1.3.13-86. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений.
21. ГОСТ 30772-2001. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения

22. ГОСТ 12.1.010-76 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Взрывобезопасность. Общие требования».
23. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».
24. Приказ Минтруда России от 24.07.2013 N 328н (ред. от 15.11.2018) "Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок".